

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-311271

(43)Date of publication of application : 02.12.1997

(51)Int.Cl.

G02B 13/00
G02B 5/18
G02B 13/18
G11B 7/135

(21)Application number : 08-125160

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 20.05.1996

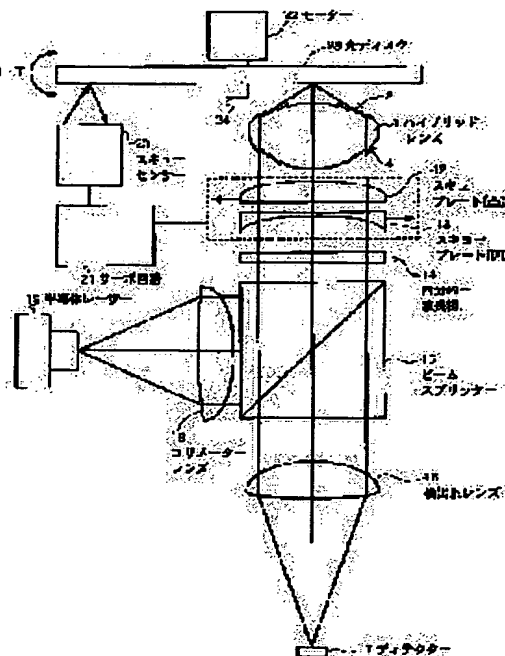
(72)Inventor : SUGANUMA HIROSHI

(54) OBJECTIVE LENS AND OPTICAL PICKUP DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To correct chromatic aberration by making numerical aperture equal to or above a specified value by respectively providing phase type diffraction type lenses on both surfaces of a single lens whose first and second surfaces are aspherical and satisfying a specified condition.

SOLUTION: The phase type diffraction type lenses 4 and 5 are added to both surfaces 2 and 3 of the single lens 1 whose both surfaces are the aspherical surfaces and which is constituted of glass material having high refractive index and high dispersion, so that an objective lens having the high numerical aperture of ≥ 0.7 is realized. In the case that center wavelength is set as λ_2 and wavelength is used from shortest wavelength λ_1 to longest wavelength λ_3 , and when the refractive indexes of the glass material forming the lenses 1, 4 and 5 at each wavelength λ_1 , λ_2 or λ_3 are respectively set as n_1 - n_3 , and the Abbe's number V of the glass material at this area is set as $V=(n_2-1)/(n_1-n_3)$, and the Abbe's number V_{HOE} of the lenes 4 and 5 is set as $V_{HOE}=\lambda_2/(\lambda_1-\lambda_3)$, the expression of $(1+(V_{HOE}/V).(n_2-1))>0.572$ is valid.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

15.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-311271

(43) 公開日 平成9年(1997)12月2日

(51) Int.Cl. ⁹	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 13/00			G 0 2 B 13/00	
	5/18		5/18	
	13/18		13/18	
G 1 1 B 7/135			G 1 1 B 7/135	A

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願平8-125160
 (22) 出願日 平成8年(1996)5月20日

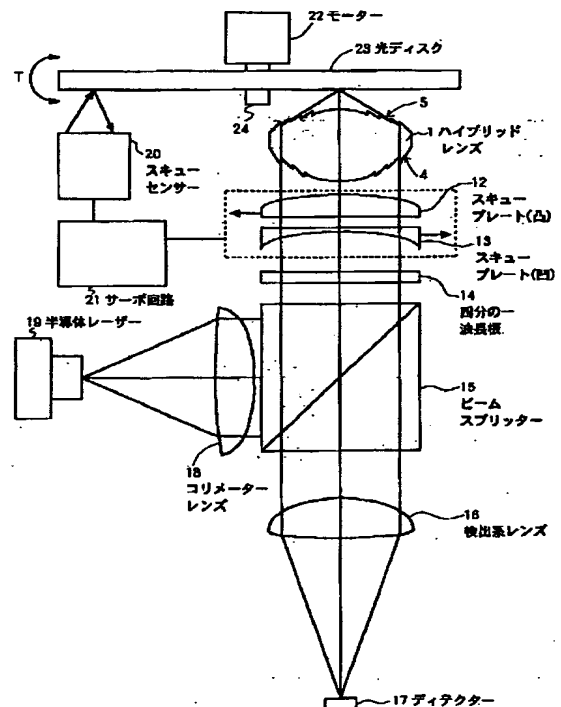
(71) 出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都品川区北品川6丁目7番35号
 (72) 発明者 菅沼 洋
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
 ー株式会社内
 (74) 代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

(54) 【発明の名称】 対物レンズ及び光学ピックアップ装置

(57) 【要約】

【課題】 単玉で開口数 (NA) が 0.7 以上であり、かつ、色消しがなされ、情報記録密度の高い光ディスク用の光学ピックアップ装置に用いて好適な対物レンズを提供する。

【解決手段】 両面非球面レンズ 1 の両面上に回折型レンズ 4, 5 をそれぞれ一体的に形成し、屈折型回折型一体の対物レンズとし、開口数 (NA) を 0.7 以上とし、屈折型レンズと回折型レンズとで色消しを行う。半導体レーザー 19 より光束を光ディスク 23 上に集光させることにより、高密度の情報記録再生が行える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1面及び第2面の両面が非球面である単玉レンズであって、該両面上にそれぞれ位相型回折型レンズを有し、

中心波長を λ_2 として最短波長 λ_1 乃至最長波長 λ_3 において使用する場合において、このレンズを形成している硝材の該各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 での屈折率をそれぞれ n_1 、 n_2 、 n_3 、この領域での該硝材のアップベ数 V を $V = (n_2 - 1) / (n_1 - n_3)$ 、上記位相型回折型レンズのアップベ数 V_{HOE} を $V_{HOE} = \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_3)$ とすれば、

【数1】

$$\left(1 + \frac{V_{HOE}}{V}\right) \cdot (n_2 - 1) > 0.572$$

が成立しており、色収差が補正されているとともに、開口数が0.7以上となされている対物レンズ。

【請求項2】 位相型回折型レンズにより、短波長に対して焦点距離が短くなるように色収差が過剰補正されている請求項1記載の対物レンズ。

【請求項3】 位相型回折型レンズが非球面位相項をもち、この位相型回折型レンズの最小ピッチ部分の位置が、レンズの中心と周縁との間の位置となされている請求項1記載の対物レンズ。

【請求項4】 位相型回折型レンズを構成する各溝の深さが、波長に対して10以下の整数倍の光路差が生じる深さとなされている請求項1記載の対物レンズ。

【請求項5】 第1面、または、第2面上に形成された位相型回折型レンズによって生じる複数の回折光のそれぞれが、互いに異なる仕様の光学記録媒体に対する記録再生に用いられることとなされた請求項1記載の対物レンズ。

【請求項6】 半球状のレンズと組み合わせられて、固体液浸型対物レンズを構成している請求項1記載の対物レンズ。

【請求項7】 光源と、上記光源より発せられる光束を光学記録媒体の信号記録面上に集光させる対物レンズと、

上記光学記録媒体による上記光束の反射光束を検出する光検出手段とを備え、

上記対物レンズは、第1面及び第2面の両面が非球面である単玉レンズであって、該両面上にそれぞれ位相型回折型レンズを有し、中心波長を λ_2 として最短波長 λ_1 乃至最長波長 λ_3 において使用する場合において、このレンズを形成している硝材の該各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 での屈折率をそれぞれ n_1 、 n_2 、 n_3 、この領域での該硝材のアップベ数 V を $V = (n_2 - 1) / (n_1 - n_3)$ 、上記位相型回折型レンズのアップベ数 V_{HOE} を $V_{HOE} = \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_3)$ とすれば、

$$\left(1 + (V_{HOE}/V)\right) \cdot (n_2 - 1) > 0.572$$

が成立しており、色収差が補正されているとともに、開口数が0.7以上となされている光学ピックアップ装置。

【請求項8】 対物レンズの光軸と光学記録媒体の信号記録面が垂直でないことにより生ずるコマ収差を補正するスキューサー機構を有している請求項7記載の光学ピックアップ装置。

【請求項9】 光学記録媒体として、この光学記録媒体を構成する透明材料よりなる基板の厚さが0.6mm以下であるものを用い、この基板を透して信号記録面に対して光束を集光させることとなされた請求項7記載の光学ピックアップ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、種々の光学装置において使用される対物レンズ及びこの対物レンズを用いて構成された光学ピックアップ装置に関する技術分野に属する。

【0002】

【従来の技術】従来、光学記録媒体である光ディスクは、動画、音声、コンピューター用データなどの情報信号（データ）保存のために用いられている。また、この光ディスクは、良好な量産性と低コスト性のため、広く普及している。この光ディスクに対しては、記録される情報信号の高密度化、大容量化の要望が強く、近年においてもこの要望はますます強くなっている。光ディスクにおいて記録される情報信号の記録密度を上げるには、この情報信号の読み出しに用いる光束の短波長化と、該光束を光ディスク上に集光させる対物レンズとして高い開口数（NA）のレンズを使うことの2つが有効である。

【0003】動画情報をデジタル信号化して記録するいわゆる「デジタル・ビデオ・ディスク（DVD）」の再生においては、NA0.6の対物レンズを備えた光学ピックアップ装置が用いられる。この対物レンズは、金型を用いた射出成型手段を用いて、透明な合成樹脂材料、または、ガラスモールディングにより形成される。また、この「デジタル・ビデオ・ディスク」においては、光ディスクの傾きによるコマ収差の影響を低減させるために、透明材料よりなるディスク基板の厚さが、0.6mmとなされている。この「デジタル・ビデオ・ディスク」におけるディスク基板の厚さは、デジタル信号化された音声情報が記録されているいわゆる「コンパクトディスク（CD）」や光磁気ディスクのディスク基板の厚さ（1.2mm）の半分となされている。

【0004】しかし、上記「デジタル・ビデオ・ディスク」において用いられる対物レンズ以上に高いNA（すなわち、0.6以上）を有する単玉非球面レンズを作ること、金型の加工及び成形時の偏心制御が困難となるという理由により、殆ど不可能であるといわれている。

すなわち、上記対物レンズを成型するための金型の加工にあたっては、切削刃（ダイヤモンドバイト）の先端の大きさから、レンズ面の傾きが45度を越える（光軸に対して45°未満となる）と、非球面金型の加工は困難である。また、レンズ面の曲率がきつくなると、「サグ」（レンズの頂点から最外周までの項軸方向に沿った深さ）が大きくなり、金型の切削加工が困難になる。このような事情から、これまで、開口数0.7以上のレンズを、単レンズとして作製したという報告はない。

【0005】また、光ディスクを再生するためのノイズ要因の一つに、レーザーの出力変動に伴うモードホップの問題がある。レーザーの波長が変動すると、焦点位置が移動し、焦点外れ（フォーカスエラー）を生じる。特に光磁気ディスクにおいては、読み出しと書き込みの切り替えを頻繁に行うため、モードホップが起こりやすい。これに対して、回折型一体化レンズを用いて色収差を補正する試みが、例えば、米国特許5349471号の「ハイブリッド・リフラクティブ・ディフラクティブ・アクロマティック・レンズ・フォー・オブティカル・データ・ストレージ・システム」（“HYBRID REFRACTIVE/DIFFRACTIVE ACHROMATIC LENS FOR OPTICAL DATA STORAGE SYSTEM” G. Micael Morris et al. U.S. Patent Number 5,349,471）や、第41回春期応用物理学会予稿集29a-L-11（1994）にある「光磁気ディスク用回折色収差補正対物レンズ」（丸山晃一、岩城真、若宮俊一郎、小川良太）、あるいは、第56回秋期応用物理学会予稿集29a-ZA-11（1995）にある「回折型レンズ一体型ガラス成型色消し対物レンズ」（山形道広、田中康弘、白藤芳則、清水義之、春原正明）において報告され提案されている。これらの提案は、色収差の補正を目的としており、回折型レンズを片面に有する単玉レンズに関し、開口数が0.55程度のレンズに関するものである。

【0006】回折型レンズ一体型色収差補正レンズ自体は1988年の「ハイブリッド・リフラクティブ・ディフラクティブ・レンズ・アンド・アクロマーツ」（“Hybrid diffractive-refractive lenses and achromats” Thomas Stone and Nicholas George, Appl. Opt. 27, 2960 (1988)）等において、従来より提案されている。しかしながら、これらの回折型レンズの加工、作製は困難であり、最近までは、実用に供することが可能なレンズを作製することができなかった。ところが、最近では、位相型回折型レンズは、通常の非球面レンズと同様に、金型上にダイヤモンドターニングで作製できることとなり、プラスチックモールドもしくはガラスモールドの非球面レンズと一体化して作製できるようになった。これによって、従来の非球面レンズと略々同等のコストで、位相型回折型レンズが一体化されたレンズを作製することが可能になった。

【0007】回折型光学素子を屈折型光学素子と組み合

わせることで、小型軽量であることを維持しつつ色収差を補正する原理は、以下の通りである。まず、一般に、色消条件は、次のように導かれる。焦点距離 f_1 、 f_2 の2枚の薄肉レンズを間隔 d で配置すれば、合成レンズの焦点距離 f は、

【0008】

【数2】

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

【0009】で与えられる。この両辺の全微分を取り、 $d=0$ とすれば、

【0010】

【数3】

$$\frac{df}{f^2} = \frac{df_1}{f_1^2} + \frac{df_2}{f_2^2} = 0$$

【0011】を得る。薄肉レンズの第1面及び第2面の曲率半径を r_1 、 r_2 、硝材の屈折率を n とすれば、

【0012】

【数4】

$$(n-1)f = \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}$$

【0013】となり、これを n について微分して次式を得る。

【0014】

【数5】

$$\frac{df}{f} = \frac{dn}{n-1}$$

【0015】ここで、アッベ (Abbe) 数 V は、次式で定義される。一般によく用いられるのは、可視光に対する d 線を中心とするものである。以下では、添字 D 、 F 、 C を有する n は、それぞれ d 線（589.6nm）、 f 線（486.1nm）、 c 線（656.3nm）のスペクトル線に対する屈折率である。これらの値は、光源の波長範囲に対して適宜置き換えればよい。

【0016】

【数6】

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} = \frac{n - 1}{\Delta n} = \frac{n - 1}{dn}$$

【0017】よって、

【0018】

【数7】

$$\frac{df}{f} = -\frac{1}{V}$$

【0019】この【数式7】と上記【数式3】とより、

【0020】

【数8】

$$f_1 v_1 + f_2 v_2 = 0$$

5

【0021】が得られ、上記【数式2】と上記【数式8】とより、

【0022】

【数9】

$$f_1 = f \left(1 - \frac{v_2}{v_1} \right), f_2 = f \left(1 - \frac{v_1}{v_2} \right)$$

【0023】が得られる。この【数式9】が、組みレンズの色消し条件である。

【0024】そして、回折型レンズのアップ数は、以下のように求められる。理想的な回折型レンズの位相伝達関数 $t(x, y)$ は、設計波長 λ_0 、設計焦点距離 f_0 に対して、

【0025】

【数10】

$$t(x, y) = \exp \left[\frac{i\pi}{\lambda_0 f_0} (x^2 + y^2) \right]$$

【0026】である。この回折型レンズに波長 λ ($= c$ (光速) / v (振動数)) の単色光平面波 $\exp [+i 2\pi v t]$ が入射したとき、透過波面は、

【0027】

【数11】

$$v(x, y, 0; t) = \exp \left[\frac{i\pi}{\lambda f(\lambda)} (x^2 + y^2) + i 2\pi v t \right]$$

【0028】で示される。ここで、 f は波長の関数であり、

【0029】

【数12】

$$f(\lambda) = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right) f_0$$

【0030】である。特に、

【0031】

【数13】

$$f_C = f_D \left(\frac{\lambda_D}{\lambda_C} \right), f_F = f_D \left(\frac{\lambda_D}{\lambda_F} \right)$$

【0032】であり、通常のレンズのパワー $\Phi(\lambda)$ は、

【0033】

【数14】

$$\Phi(\lambda) = \frac{1}{f(\lambda)} = (n(\lambda) - 1) C_0$$

【0034】である。これと同様に、波長 λ_z における回折型レンズの実効屈折率 n_z^{eff} を定めることができる。すなわち、

【0035】

【数15】

6

$$\frac{1}{f_c} = (n_z^{\text{eff}} - 1) C_0$$

【0036】である。ここで、 C_0 は設計で決まる定数である。上記【数式13】及び上記【数式15】より、

【0037】

【数16】

$$n_z^{\text{eff}} = 1 + \frac{1}{C_0 f_c} = 1 + \frac{\lambda_z}{C_0 f_d \lambda_d}$$

【0038】が得られ、この【数式16】と上記【数式6】とより、回折型レンズのアップ数 V_{H0E} は、

【0039】

【数17】

$$V_{H0E} = \frac{\lambda_D}{\lambda_F - \lambda_C} = -3.452$$

【0040】と求められる。この【数式17】と屈折型レンズのアップ数を上記【数式9】へ代入すれば、色消しに必要な回折型レンズと屈折型レンズとの焦点距離の比が求められる。ガラスのアップ数は常に正であり、25乃至70程度の間に分布している。したがって、通常の色消しレンズ（凸レンズ）においては、クラウンガラスの凸レンズとフリントガラスの凹レンズを用いて色収差補正を行う ($f_1 > 0, f_2 < 0$)。しかし、回折型レンズ及び屈折型レンズを用いた色収差補正においては、 $V_{H0E} < 0$ なので、屈折型凸レンズと回折型凸レンズとを組み合わせ、色収差補正ができる。このため、それぞれのレンズのパワーが弱くても済む、すなわち、曲率を緩くしたまま色収差補正ができ、金型作製の加工が容易になるという利点がある。また、可視光に対して—

30

【0041】

【発明が解決しようとする課題】開口数0.7以上の高開口数のレンズも、色消しレンズも、複数のレンズを組み合わせれば実現できる。しかし、これを1枚のレンズとして、同時に実現することはこれまでできなかった。

40

また、最近では、これらの課題に対して、非球面レンズ（後玉）と半球状のレンズ（前玉）との2枚のレンズを用い、該半球状のレンズを光ディスクに略々密着させて、顕微鏡において使用される液浸レンズと同様の原理で、該半球状のレンズの屈折率分（約1.5倍）だけ開口数（NA）が上がるようにした固体液浸型レンズが提案されている。しかし、この固体液浸型レンズでも、光源として半導体レーザを用いた場合にモードホップにより生じる色収差が問題となる。また、この固体液浸型レンズでは、後玉のパワーを上げた方が、公差的にも、設計上有利である。

50

【0042】従来より用いられているいわゆる「コンパクト・ディスク（CD）」の如き光ディスクのディスク基板の厚さは、前述したように、1.2mmである。しかし、今後は、さらに薄いディスク基板を有する高密度フォーマットの光ディスクが用いられるようになる可能性が高い。これは、ディスク基板が薄いほど、ディスクスキューによって生じるコマ収差などのノイズ要因を小さくすることができるからである。記録される情報信号の高密度化のため、より短波長の光源とより高い開口数の対物レンズとが使われるようになれば、このようなディスク基板の厚さの影響はますます著しくなる。ここで、光ディスクより情報信号を読み取る光学ピックアップ装置においては、従来のフォーマットの光ディスクと将来のフォーマットの光ディスクとの互換性を確保することが、重要な課題となる。ディスク基板の厚みが違えば、その厚みによって生じる球面収差が変わってくるので、このままでは、互換性が確保できない。

【0043】この課題について、第56回応用物理学会予講集（No.3.p956-957、SPIE VOL.2338 Optical Data Storage(1994) p282-288）において、対物レンズの中心部にホログラムを形成し、0次光と1次光で、それぞれ別のフォーマットのディスクを読むという報告がされている（ISOM'95 Post-deadline Paper Technical Digest P-38-39）。また、本件出願人は、±1次光を用いて上記提案と同様の効果を実現する「二焦点レンズを用いた光ディスク装置」を提案している。

【0044】また、光ディスクの信号記録層を多層構造化することは、情報記録量を飛躍的に増大させる有力な手段である。しかし、各信号記録層に対応するディスク基板の厚みの違いによって生じる球面収差の量の違いをどう補正するか、という課題がある。これらに対して、いくつかの提案がなされているが、これらの提案は、複数の光学ピックアップ装置を必要としたり可動部が必要となることにより、装置構成の複雑化が招来されるものであったり、または、必要な開口数が確保できないといった課題を残しているものであった。

【0045】本発明は、上述の実情に鑑みて提案されるものであって、開口数が0.7以上で、かつ、色収差が補正された対物レンズを、回折型レンズ一体型の両非球面単玉レンズとして実現するという課題を解決しようとするものである。

【0046】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決するため、本発明に係る対物レンズは、第1面及び第2面の両面が非球面である単玉レンズであって、該両面上にそれぞれ位相型回折型レンズを有し、中心波長を λ_2 として最短波長 λ_1 乃至最長波長 λ_3 において使用する場においてこのレンズを形成している硝材の各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 での屈折率をそれぞれ n_1 、 n_2 、 n_3 、この領域での該硝材のアップベ数 V を $V = (n_2 - 1) / (n_1 -$

$n_3)$ 、位相型回折型レンズのアップベ数 V_{H0E} を $V_{H0E} = \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_3)$ とすれば、

$$(1 + (V_{H0E}/V)) \cdot (n_2 - 1) > 0.572$$

が成立しており、色収差が補正されているとともに、開口数が0.7以上となされているものである。

【0047】また、本発明は、上記対物レンズにおいて、上記位相型回折型レンズにより、短波長に対して焦点距離が短くなるように色収差が過剰補正されていることとしたものである。

10 【0048】さらに、本発明は、上記対物レンズにおいて、上記位相型回折型レンズが非球面位相項をもち、この位相型回折型レンズの最小ピッチ部分の位置がレンズの中心と周縁との間の位置となされていることとしたものである。

【0049】そして、本発明は、上記対物レンズにおいて、上記位相型回折型レンズを構成する各溝の深さが、波長に対して10以下の整数倍の光路差が生じる深さとなされていることとしたものである。

20 【0050】また、本発明は、上記対物レンズにおいて、上記第1面、または、上記第2面上に形成された位相型回折型レンズによって生じる複数の回折光のそれぞれが、互いに異なる仕様の光学記録媒体に対する記録再生に用いられることとしたものである。

【0051】さらに、本発明は、上記対物レンズであって、半球状のレンズと組み合わせられて固体液浸型対物レンズを構成していることとしたものである。

30 【0052】そして、本発明に係る光学ピックアップ装置は、光源と、この光源より発せられる光束を光学記録媒体の信号記録面上に集光させる対物レンズと、該光学記録媒体による該光束の反射光束を検出する光検出手段とを備え、上記対物レンズは、第1面及び第2面の両面が非球面である単玉レンズであって、該両面上にそれぞれ位相型回折型レンズを有し、中心波長を λ_2 として最短波長 λ_1 乃至最長波長 λ_3 において使用する場において、このレンズを形成している硝材の該各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 での屈折率をそれぞれ n_1 、 n_2 、 n_3 、この領域での該硝材のアップベ数 V を $V = (n_2 - 1) / (n_1 - n_3)$ 、上記位相型回折型レンズのアップベ数 V_{H0E} を $V_{H0E} = \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_3)$ とすれば、

$$(1 + (V_{H0E}/V)) \cdot (n_2 - 1) > 0.572$$

40 が成立しており、色収差が補正されているとともに、開口数が0.7以上となされていることとしたものである。

【0053】また、本発明は、上記光学ピックアップ装置において、上記対物レンズの光軸と光学記録媒体の信号記録面が垂直でないことにより生ずるコマ収差を補正するスキューサー機構を有していることとしたものである。

50 【0054】さらに、本発明は、上記光学ピックアップ装置であって、上記光学記録媒体として、この光学記録

媒体を構成する透明材料よりなる基板の厚さが0.6mm以下であるものを用い、この基板を透して信号記録面に対して光束を集光させることとしたものである。

【0055】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る対物レンズ及び光学ピックアップ装置の具体的な実施の形態について、次の順序により説明する。

【0056】〔1〕本発明の概要

〔2〕色収差の補正について

〔3〕回折型レンズを構成する溝のピッチについて

〔4〕光学ピックアップ装置の構成について

〔5〕固体液浸型レンズへの適用について

〔6〕異なる仕様の光ディスクへの記録再生について

【0057】〔1〕本発明の概要

本発明者は、上述した課題を解決するために鋭意検討を重ねた結果、図3に示すように、高屈折率高分散の硝材からなる両面非球面の単玉レンズ1の両面2、3に位相型回折型レンズ4、5を加えることにより、0.7以上の高開口数をもつ対物レンズを実現できるとの知見を有するに至った。また、回折型レンズを構成する溝のピッチ（加工ピッチ）を広げるために両面の回折型レンズにパワーを均等に配置すること、回折型レンズの非球面項を活用して該溝の最小ピッチを広げることが可能であるという知見を有するに至った。さらに、このような対物レンズを用いれば、必要であれば0.6mm以下の厚さのディスク基板を有する光ディスクに対して情報信号の読み出し書き込みを行う光学ピックアップ装置を構成することが可能であり、また、スキューサー機構を併用すればさらに高密度の情報記録を行う光ディスクに対して情報信号の読み出し書き込みを行う光学ピックアップ装置を構成することができる。さらに、この対物レンズと半球状のレンズとを組み合わせれば、高開口数の固体液浸型レンズを実現することができる。

【0058】屈折型レンズの各面の曲率及びこの屈折型レンズをなす硝材を変えなくとも、この屈折型レンズの表面に回折型レンズを形成することにより、レンズのパワーを上げることができ、開口数（NA）を上げることができる。

【0059】モールドイング加工により非球面のレンズ面上にさらに非球面係数を含む回折型レンズを一体成型することには、大きなメリットがある。一見、非球面上に非球面を乗せても、非球面であることに変わりはないようにも思われるが、これには大きな効果がある。すなわち、図21に示すように、通常の屈折型レンズにおいては、面の曲率（ $=1/R$ ）を変えれば、同じ光線に対しても、入射角 θ とサグ z （レンズの頂点から入射位置までの光軸に平行に測った深さ）が変化する。しかし、この面上に回折型レンズ4を形成すれば、回折型レンズ4は厚みが0なので、その位置における格子周期を変えれば、この面からの出射角 θ' だけが変化する。つま

り、屈折型レンズとしてのベース曲率と回折型レンズとしての格子周期によって、出射角 θ' とサグ z とを独立に自由に変えることができる。したがって、設計の自由度が拡大する。

【0060】また、レンズにおいてコマ収差を取り除くには、正弦条件を満たさなければならない。アフォーカル系の場合の正弦条件は、図20に示すように、次式で与えられる。

$$【0061】(h/f) = \sin U$$

ここで、 f ：焦点距離、 h ：入射高、 U ：出射角である。

【0062】正弦条件を厚肉系で完全に満たすには、図22に示すように、第2面に回折型レンズ5を配置することが必要である。すなわち、焦点距離 f のレンズに入射高 h で入射する光の光路を考えたとき、この光が正弦条件を満たすとすれば、出射角 U は、正弦条件より、 $U = \sin^{-1}(h/f)$ で与えられる。したがって、レンズの出射点はCでなければならない。したがって、入射位置Aが決まれば、正弦条件を満たす光路ACF（Fは、焦点）は一意に決まってしまう。しかし、屈折型かレンズでは、全ての光線がこの条件を満たす光路を通ることができるわけではなく、このずれがコマ収差となる。しかし、このレンズ1の第2面に回折型レンズ5があれば、前述したように、光線の方向だけを自由に変えられるので、正弦条件を完全に満たすことができる。

【0063】また、本発明に係る屈折型回折型一体型の対物レンズにおいては、回折型レンズによって得られた設計の自由度により、球面収差及びコマ収差を高次までに亘って補正することができる。一般に、偏心によって生じるコマ収差などは、より低次の球面収差やコマ収差の関数である。これらの低次収差が抑えられれば、当然に、偏心によって発生するコマ収差も少なくなる。もしくは、その発生量のバランスを最適化することで、互いに打ち消し合うような設計が可能になる。したがって、屈折型回折型一体型レンズにおいては、偏心に対するトレランスを広げることができる。

【0064】〔2〕色収差の補正について

ここで、問題になるのが回折型レンズの大きな色収差である。屈折型レンズと回折型レンズとを一体化（ハイブリッド化）しても、回折型レンズのパワーと屈折型レンズのパワーの比が色消し条件を略々満たすものとなっていなければ、大きな色収差が生じてしまう。上記各レンズのパワーの比は、先に述べたように、屈折型レンズをなす硝材の分散で決まる。この硝材の分散が大きければ大きいほど、回折型レンズのパワーの屈折型レンズのパワーに対する比を上げなければいけない。つまり、回折型レンズに強いパワーを与えることができる。上記各レンズのパワーの比を色消し条件を略々満たすものとすれば、屈折型の凸レンズに対して回折型の凸レンズを組み合わせることにより、色収差は補正できる。したがっ

て、上記硝材が高分散の材料であるほど、色収差を補正しつつ、回折型レンズによってパワーを上げることができる。ただし、色消し条件を多少オーバーしても、色収差が実用上問題ない範囲であれば、回折型レンズのパワーを上げて過剰補正し、さらに開口数 (NA) を上げて構わない。この場合においては、焦点距離は、短波長であるほど短くなることになる。

【0065】また、高分散の硝材は、一般に高屈折率である。レンズの開口数 (NA) は、薄肉近似において、以下のように与えられる。

【0066】

【数18】

$$NA = \frac{a}{f} = a(n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

【0067】この【数式18】において、a、f、n、 R_1 、 R_2 は、以下のものを示している。

【0068】a；レンズの瞳半径

f；レンズの焦点距離

n；屈折率

R_1 ；第1面の曲率半径

R_2 ；第2面の曲率半径

すなわち、屈折型レンズをなす硝材の屈折率が高いほど、曲率を変えなくとも、開口数 (NA) を上げることができる。この点からも、屈折型レンズに回折型レンズを一体的に形成する場合においては、高屈折率高分散の硝材を用いることが望ましい。また、回折型レンズの回折効率、入射角が大きくなると低下する。そのため、ベースとなる曲面の曲率はできるだけ小さい方が効率が高くなる。この観点からも、上記【数式18】中の曲率半径 R_1 、 R_2 はできるだけ大きいことが望ましい。

【0069】では、硝材を変えることによりどれだけ開口数 (NA) を上げられるか、ということが問題になる。ここで、レンズの両面の曲率半径 R_1 、 R_2 とレンズ径 a が同じ2つのレンズ L_1 (屈折率 n_1 、アッベ数 V_1)、 L_2 (屈折率 n_2 、アッベ数 V_2) を考える。すると、これら2つのレンズの開口数 NA_1 、 NA_2 は、

【0070】

【数19】

$$NA_1 = \frac{a}{f_1} = a(n_1-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$NA_2 = \frac{a}{f_2} = a(n_2-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

【0071】となる。ここで、一方のレンズ L_2 に回折型レンズを加えて、色収差補正を行う。このとき、この*

*回折型レンズの焦点距離 f_{HOE} は、

【0072】

【数20】

$$f_{HOE} = -\frac{f_2 v_2}{v_{HOE2}} = \frac{f_2 v_2}{3.452}$$

【0073】となる。したがって、屈折型レンズと回折型レンズとの一体型レンズの全体のパワーは、

【0074】

10 【数21】

$$\Phi = \frac{1}{f} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_{HOE}} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{-f_2 \frac{v_2}{v_{HOE}}} = \frac{1}{f_2} \left(1 - \frac{v_{HOE}}{v_2} \right)$$

【0075】である。よって、レンズ全体の開口数 $NA_{achromat}$ は、

【0076】

【数22】

20

$$NA_{achromat} = a(n_2-1) \left(1 - \frac{v_{HOE}}{v_2} \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

【0077】となる。この開口数 $NA_{achromat}$ と、他方のレンズ L_1 の NA_1 との比 Q は、

【0078】

【数23】

$$Q = \frac{NA_{achromat}}{NA_1} = \left(1 - \frac{v_{HOE}}{v_2} \right) \frac{n_2-1}{n_1-1}$$

【0079】である。開口数 (NA) が0.7以上の屈折型回折型一体型のレンズを、開口数 (NA) が0.6以下の従来のレンズの加工に用いられたのと同様の金型加工技術で作製するには、 $Q \geq 1.17$ ($=0.7/0.6$) (比 Q が1.17以上) となる屈折率とアッベ数を持つ硝材を用いればよい。

【0080】なお、ここで基準とする上記レンズ L_1 としては、図1に示すように、例えば、いわゆるビデオディスク用の対物レンズや、「デジタル・ビデオ・ディスク (DVD)」用の対物レンズを考えれば十分である。これらのレンズは、以下の【表1】に示すように、それぞれ市販されているレンズや試作されているレンズのうちでは最も開口数 (NA) が高く、しかも、どちらも実際に製造の実績があるものである。したがって、これらのレンズが有する曲率は、現在の加工技術で十分作成可能な曲率の目安と考えることができる。

【0081】

【表1】

ビデオディスク用対物レンズ	NA0.55	FDC1	$n=1.49$	$V=81$
DVD用対物レンズ	NA0.60	BaCD5	$n=1.587$	$V=61.3$

【0082】上記ビデオディスク用の対物レンズと同様の 50 の曲率を有する屈折型レンズに回折型レンズを一体的に

形成して開口数 (NA) を上げた場合においては、

【0083】

【数24】

$$\left(1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_3}\right) \times \frac{n_2 - 1}{0.49} > \frac{0.7}{0.6}$$

【0084】が成立すれば、開口数 (NA) が0.7以上で色消しなされた屈折型回折型一体型のレンズが作成可能な硝材であることがわかる。また、「デジタル・ビデオ・ディスク (DVD)」用の対物レンズと同様の曲率を有する屈折型レンズに回折型レンズを一体的に形成して開口数 (NA) を上げた場合においては、

【0085】

【数25】

$$\left(1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_3}\right) \times \frac{n_2 - 1}{0.587} > \frac{0.7}{0.6}$$

【0086】が成立すれば、開口数 (NA) が0.7以上で色消しなされた屈折型回折型一体型のレンズが作成可能な硝材であることがわかる。ただし、ここで、回折型レンズのアッペ数は、波長の関数である。前述したように、一般によく用いられるのは、可視光に対するd線を中心とする589.6nm、486.1nm、656.3nmのスペクトル線に対する屈折率を用いた V_d である。半導体レーザー (LD) を光源として使用されるレンズにおいては、アッペ数は、この半導体レーザーの発する光束の波長範囲に対して適宜置き換えればよい。同様のことは、他の屈折率やアッペ数についてもいえる。しかし、硝材選択の目安としては、簡便な目安のほうが便利である。また、現在、半導体レーザーの発光波長の短波長化が、赤から緑や青にかけて、可視域において進められている。これらを考慮すると、通常用いられるアッペ数を用いて考えても十分な目安が得られる。したがって、上記ビデオディスク用の対物レンズの場合に基づき、

【0087】

【数26】

$$\left(1 + \frac{3.452}{V_d}\right) \times \frac{n_2 - 1}{0.49} > \frac{0.7}{0.6}$$

$$\therefore \left(1 + \frac{3.452}{V_d}\right) \cdot (n_2 - 1) > 0.572$$

【0088】を満たす硝材を用いればよいことがわかる。これを、実際のガラスモールドにおいてよく使われる硝材について調べれば、例えば「HOYA」社製の硝材においては、BSC7、FCD1は、非球面ガラスモ

ールドレンズの硝材としてよく使われる低分散低屈折率の硝材だが、上記【数式26】の条件を満たさない。BaCD5、BaCD16は、ともに、対物レンズ用の硝材としてよく使われるが、これらは上記【数式26】の条件を満たすものの、「デジタル・ビデオ・ディスク (DVD)」用の対物レンズの曲率を基準とすれば、作成可能な条件を満たさない。したがって、これらの硝材は、屈折型回折型一体型のレンズの作成は可能ではあるかもしれないが、決して好ましい材料ではないことが分かる。一方、LaF20、LaF81、NbFD81、FDS3、FD13、LaC13などの、高屈折率高分散の硝材は、これらの条件をよく満たす。これらの材料は、生産性に優れたものが多く、大量生産に最適だが、色収差が多いことから、光通信などの用途に限られて使われてきた。したがって、屈折型回折型一体型の色消しによって、これらの硝材が光ディスクや光磁気ディスク用の対物レンズに使えるようになれば、生産性が上がり、量産コストの面からも大きな効果が期待できる。なお、プラスチック光学材料のほとんどはこれらの条件を

満たさない。

【0089】【3】回折型レンズを構成する溝のピッチについて

では、このような硝材を用いることによりレンズの開口数 (NA) をどれだけ上げることができるか、ということを考えるうえで問題になるのは、回折型レンズを構成する溝のピッチである。回折型レンズのパワーを上げようとするれば、同じレンズ径においては、上記溝のピッチはどんどん狭くなり、加工が困難となる。

【0090】回折型レンズのパワーは、レンズ全体としての開口数と硝材を決定すれば、前述の色消し条件から決定される。したがって、同じ開口数のレンズであっても、硝材が異なれば、回折型レンズのピッチは異なる。そこで、屈折型の非球面レンズの作製と回折型レンズの加工とのどちらかが可能となるように、最適な硝材を決定しなければならない。

【0091】上記溝のピッチに関しては、以下のような議論が有効である。まず、図2に示すように、回折型レンズが屈折型レンズの第1面のみに形成される場合を考える。回折型レンズの非球面項を無視して、図10乃至図12及び図14に示すように、濃度型フレネルゾーンプレート (すなわち、フレネルの輪帯6、7を1つ置きに塗りつぶして、同位相の光のみが透過し、回折光が一点に集光するような機能を持った回折型光学素子) と考えれば、以下のような見積もりが可能である。本発明において主に考えているのは、図17に示すように、ブレード形状の位相型回折型レンズであるが、この位相型回折型レンズは、上記濃度型フレネルゾーンプレートを、図13、図15及び図16に示すように、位相型フレネルゾーンプレートを経て、拡張したものであって、該濃度型フレネルゾーンプレートと同様の原理に基づく

ものであり、このように置き換えて考えても一般性を失わない。なお、上記位相型フレネルゾーンプレートは、フレネルの輪帯8, 9を1つ置きに厚みの異なる領域として、透過した光の位相が該フレネルの輪帯8, 9ごとに異なるようにして、回折光が一点に集光するような機能を持った回折型光学素子である。ここで、特に、図10に示すように、中心の円盤に始まる奇数番目の輪帯7を透明にしたものを正の（濃度型）ゾーンプレートといい、図11に示すように、偶数番目の輪帯7を透明にし*

$$S_n = \begin{cases} \sqrt{(2n-1)\lambda f} \\ \sqrt{2n\lambda f} \end{cases}$$

上：正のゾーンプレート 下：負のゾーンプレート

【0093】（この【数式27】において、上の式が正のゾーンプレートについてのものであり、下の式が負のゾーンプレートについてのものである。） ※

$$\Delta S_n = \begin{cases} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda f}{2n-1}} \\ \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda f}{2n}} \end{cases}$$

上：正のゾーンプレート 下：負のゾーンプレート

【0095】である。（この【数式28】において、上の式が正のゾーンプレートについてのものであり、下の式が負のゾーンプレートについてのものである。）本発明で考えているのは、図17に示すように、位相型回折型凸レンズであり、この位相型回折型凸レンズは、正の（濃度型）ゾーンプレートにおける透過輪帯7と遮光輪帯6とを1本ずつを合わせた位相1周期にあたる領域で、ブレード（傾斜状溝）形状の段差により透過光に位相差を与えるものと考えることができる。したがって、外周側のブレードのピッチが細かい領域では、位相型回折型レンズを構成するブレードのピッチdsは、

【0096】

【数29】

$$ds = 2\Delta S_n = \sqrt{\frac{\lambda f}{2n-1}}$$

【0097】と考えられる。色消しレンズを構成する屈折型レンズと回折型レンズとのうち回折型レンズのみの開口数（NA）は、通常よく使われる硝材について、全レンズの開口数（NA）の5%乃至15%である。従って、開口数（NA）0.7を達成しようとすれば、この0.7のうちの0.035乃至0.105が、回折型レンズのみの開口数（NA）ということになる。レンズの有効径を直径5mmとすれば、焦点距離は、約25mm乃至70mmということになる。有効径直径5mmにおける最外周部は、波長635nmに対して、

【0098】

【数30】

*たものを負の（濃度型）ゾーンプレートという。これら正及び負の（濃度型）ゾーンプレートは、それぞれ、無収差の凸レンズ及び凹レンズとして機能する。この濃度型フレネルゾーンプレートのn番目の透明輪帯7の外側の半径 s_n （ $n=1, 2, 3, \dots$ ）は次式で与えられる。

【0092】

【数27】

※また、それぞれの輪帯の幅は、

【0094】

【数28】

$$2.5mm = \sqrt{(2n-1) \times 635mm \times 25mm}$$

$$\therefore n = 197$$

$$2.5mm = \sqrt{(2n-1) \times 635mm \times 70mm}$$

$$\therefore n = 71$$

【0099】であることから、71本目乃至197本目の輪帯に略々相当する。このとき最外周部分のブレードのピッチは、最小最大それぞれ、

【0100】

【数31】

$$ds = \sqrt{\frac{0.635\mu m \times 25mm}{2 \times 197 - 1}} = 6.35\mu m$$

$$ds = \sqrt{\frac{0.635\mu m \times 70mm}{2 \times 71 - 1}} = 17.7\mu m$$

【0101】である。最短のピッチでも、波長の10倍程度なので、スカラー理論が成立する範囲である。ブレードのピッチが上記最短のピッチより短くなると、偏光方向によって回折効率が変わるため、スキューノイズが方向依存性を持ったり、光磁気ディスクについて記録再生を行う場合においてノイズが生じ易くなるなど、問題が多い。そこで、上記ブレードのピッチは、最低でも5 μm 、実用的には、10 μm 以上であることが望ましい。このことから、本発明に係る対物レンズにおいては、何らかの手段で、上記ブレードのピッチを緩和する（広げる）手段を併用することが望ましい。上記ブレードのピッチを緩和する（広げる）ことにより、偏光に対する影響を抑圧することができ、光磁気ディスクに対す

る記録再生においても十分にこの対物レンズが応用可能であることがわかる。また、現在の加工技術の点から見れば、このピッチは、曲面上に加工する格子のピッチとしてはかなり狭いものである。そこで、このピッチを緩和することができれば、製造上も大きな利点となる。

【0102】この回折型レンズの作製条件を緩和するには、図3に示すように、屈折型レンズ1の両面2、3に回折型レンズ4、5を配して、パワーを分散させることが有効である。理想的には、これら両面の回折型レンズ4、5の焦点距離を、ともに、図2に示すように第1面だけに回折型レンズを形成する場合における回折型レンズ4の2倍にした場合が、上記ブレースのピッチを最大にする解である。このとき、レンズの径を一定とすれば、上記【数式27】より、輪帯の本数は、第1面のみに回折型レンズを形成した場合に比して、約半分になる。このことと上記【数式29】とより、上記ブレースの最短ピッチは、第1面のみに回折型レンズを形成した場合に比して、約2倍になることとなる。しかし、実際の設計においては、収差補正の観点から、いわゆるベンディングが必要になるので、両面の回折型レンズの焦点距離の比が0.5乃至2.0の範囲であれば、十分に、両面に回折型レンズのパワーを分割した効果が得られる。この場合、この対物レンズは、回折型レンズを両面に持つことになり、回折型レンズの回折効率が問題となるかに見えるが、現在、回折型レンズにおいては、設計波長では十分に高い(90%以上の)回折効率が得られるといわれているので問題はない。また、近年、光源となる半導体レーザーの出力が向上しており、さらに、偏光ビームスプリッターを用いた偏光光学系を採用するなどの手法により、光出力の効率については十分に補償することができる。

【0103】なお、回折格子における回折効率は、格子の方向と偏光方向との角度に依存する。また、光ディスクへの入射角やレンズへの入射角が大きい場合には、偏光方向によって、反射率が異なる。このため、回折型レンズに直線偏光の光束を入射させた場合、瞳上の強度分布が不均一になり、スポットが非対称になる虞れがある。このような瞳上の強度分布の不均一さは、光磁気ディスクに対する情報信号の記録再生を行う場合などには、記録再生特性に影響を及ぼす。このような影響を避けるためには、回折型レンズに入射される半導体レーザー等の光源からの直線偏光光束を予め円偏光にしておけばよい。直線偏光光束を円偏光にするには、この光束を、四分の一波長板の如き位相子を透過させればよい。

【0104】さらに、本発明に係る対物レンズにおいては、回折型レンズのパワーを一定にして色消し条件を保ったまま、上記ブレースの最小ピッチを広げる手法がいくつか考えられる。すなわち、上記ブレースのピッチ緩和の手法としては、第一に、回折型レンズの非球面係数を活用することが考えられる。図5に示すように、レン

ズの最外周での回折型レンズによる位相差の傾きが緩くなるように、逆の符号の高次の非球面係数を加えてやれば、この非球面係数は1次の色収差には関係ないので、図4に示すように、回折型レンズの非球面係数を活用しない場合に比して、上記ブレースのピッチを緩めることができる。この場合、回折型レンズが高次の非球面位相項をもち、上記ブレースの最小ピッチ位置は、レンズ内部、すなわち、レンズの最外周とレンズの中心との間に位置することになる。このような非球面係数は、同じ面の屈折型レンズの非球面係数でやりくりすればよい。ただし、この場合には、高次で色収差が発生するので、これを十分許容できる範囲にとどめることが必要である。

【0105】そして、第二には、図6乃至図9に示すように、位相型回折型レンズの各溝の深さを波長の整数倍の光路差が生じるような深さにしてやることで、上記ブレースのピッチを広げることができることが知られている(1961年、ジャーナル・オブ・オプティカル・ソサエティ・オブ・アメリカ「ザ・フェイズ・フレネル・レンズ」(K.Miyamoto, "The Phase Fresnel Lens", Journal of the Optical Society of America, vol.51, No.1, Jan. 1961, p.17))。ただし、この場合には、上記各溝の深さを深くしていくと、ついには、屈折型のフレネルレンズに戻ってしまう。また、上記各溝の深さを深くすると、波長変動に対しての回折効率の変化の感度が高くなる。また、作製上における上記各溝の深さの製造誤差も大きくなる。このような点から、上記各溝の深さは、波長の10倍程度以下に抑えることが、実用上望ましい(なお、図6は、位相型回折型レンズの各溝の深さが波長の1倍の光路差が生じるような深さとなっている場合を示す。同様に、図7は、位相型回折型レンズの各溝の深さが波長の2倍の光路差が生じるような深さとなっている場合を、図8は、位相型回折型レンズの各溝の深さが波長の3倍の光路差が生じるような深さとなっている場合を、図9は、位相型回折型レンズの各溝の深さが波長の4倍の光路差が生じるような深さとなっている場合を、それぞれ示す)。

【0106】〔4〕光学ピックアップ装置の構成について

上述のような対物レンズを用いれば、情報信号が高密度に記録される光ディスクに対して記録再生を行う光学ピックアップ装置を実現できる。ここで、問題になるのが、光ディスクの傾きにより生じるコマ収差である。光ディスク再生時のディスクスキューによって発生するコマ収差は、短波長化、高NA化によって増加し、大きなノイズ要因となる。光ディスクにおける記録情報信号の高密度化に際して、近年、コマ収差は、光学系の大きな課題として注目されている。3次、5次のコマ収差は、ディスクスキューに比例する。ディスクスキュー θ (rad)が生じたときの3次、5次コマ収差係数(W_{31} 、 W_{51})は、

【0107】

【数32】

$$W_{31} = \frac{t}{2} \cdot \frac{N^2 - 1}{N^3} \cdot \theta \cdot NA^3$$

$$W_{51} = \frac{t}{8} \cdot \frac{(N^2 - 1)(N^2 - 3)}{N^5} \cdot \theta \cdot NA^5$$

【0108】で与えられる。この【数式32】において、 t 、 N 、 NA は、以下のものを示している。

【0109】 t ；ディスク基板の厚み

N ；ディスク基板の屈折率

NA ；対物レンズ開口数

光ディスクの傾きによって生じるコマ収差に対しては、2つの解決策が考えられる。1つめの解決策は、アクティブなスキュー補正である（1994年の「ファスト・ディスク・スキュー・サーボ・フォー・オブティカル・ディスク・ピックアップ」（“Fast Disk Skew Servo for Optical Disk Pickup” N.Eguchi et al., Technical Digest of SOM'94 (1994) P.83）や、1995年、第42回春期応用物理学学会予稿集29a-T-3、4「コリメート光学系によるチルト補正」糸長誠、長谷川祐一、吉田隆行、松崎邦久、羽地泰雄）。このようなスキュー補正は、ディスク基板の厚みが、「デジタル・ビデオ・ディスク（DVD）」と同じか、それ以上の厚みである場合は特に有効である。

【0110】ここでいうスキュー補正の原理は、例えば以下のようなものである。すなわち、図23に示すように、コマ収差を持つ光学系中に、2枚の補償用光学素子（スキュープレート（凸）12及びスキュープレート

（凹）13）を配置し、それらを互いに逆方向に移動させて正負が逆のコマ収差を発生させて収差補正するものである。上記光学系は、半導体レーザ19が発した光束をコリメータレンズ18により平行光束とし、この平行光束をビームスプリッタ15により反射させ、四分の一波長板14及び上記2枚の補償用光学素子13、12を経て、対物レンズ（ハイブリッドレンズ）1に入射させる光学系である。この対物レンズ1は、入射された光束を光ディスク23の信号記録層上に集光させる。この光ディスク23は、中心部分をスピンドルモータ22の駆動軸24によって支持され、該スピンドルモータ22によって回転操作される。上記光束は、上記光ディスク23の信号記録層により反射され、上記対物レンズ1、上記各補償用光学素子12、13及び上記四分の一波長板14を経て、上記ビームスプリッタ15に戻る。ここで、上記光ディスク23の信号記録層により反射された光束は、上記ビームスプリッタ15を透過して、検出系レンズ16を介して、ディテクタ（光検出器）17により受光される。上記各スキュープレート12、13は、上記光ディスク23の上記対物レンズ1の光軸に対するスキューを検出するスキューセンサ20による検出結果

に基づき、サーボ回路21を介して、上記光学系の光軸に直交する方向に移動操作される。上記スキューセンサ20は、例えば、上記光ディスク23に対して光束を照射する発光ダイオードの如き発光素子と該光束の反射光を検出する光検出器とを有して構成され、図23中矢印Tで示すように、該光ディスク23のラジアル方向の傾き量を検出するものである。

【0111】ここでいうコマ収差とは、5次までを含めたものであり、その方位を問わない。上記2枚のスキュープレート（補償用光学素子）12、13は、それぞれ、 $\pm \alpha R^4$ （ R は、正規化瞳半径、 α は、4次非球面係数）で与えられる凸と凹の非球面を有する素子、もしくは、それと同等の波面変換の機能を有する素子である。例えば、この非球面形状は、量子化された階段形状で近似することができる。また、屈折率分布型レンズと球面研磨とを組み合わせることもできる。これらスキュープレート12、13に対する最適の移動操作は、発生するコマ収差の方位に対して、2枚のスキュープレート12、13を互いに逆方向に、上記光ディスク23のスキュー角に比例して移動させることで与えられる。このような補正用光学素子を光学ピックアップ装置の光路中に配置すれば、上記光ディスク23の回転ぶれや反りによって生じるコマ収差を高帯域までに亘って追従的に補正することができる。すなわち、上記サーボ回路21は、上記スキューセンサ20により得られる検出結果に基づき、発生するコマ収差量を算出し、この算出結果に応じて、図示しない移動駆動機構により、上記各スキュープレート12、13を最適な方向へ最適な距離だけ移動させる。

【0112】もう一つの解決策は、ディスク基板を薄くすることである。すなわち、ディスク基板において生ずるコマ収差は、ディスク基板を薄くすれば、スキューによる発生量は少なくなる。これらの解決策を組み合わせることにより、高い開口数（ NA ）の対物レンズを用いた光学ピックアップ装置を構成することができる。

【0113】〔5〕固体液浸型レンズへの適用について上述したように、開口数が0.7以上である高開口数のレンズも、色消しレンズも、複数のレンズを組み合わせれば実現できる。しかし、これらを1枚のレンズとして、同時に実現することは、これまでできなかった。最近では、この課題に対して、半球状のレンズ（前玉）の平面部を光ディスクに略々密着させ、この半球状のレンズの後方に非球面レンズ（後玉）を配置することにより、顕微鏡の液浸レンズと同様の原理によって、該半球状のレンズの屈折率分だけ（すなわち、約1.5倍に）開口数（ NA ）を上げるようにした固体液浸型レンズが提案されている。しかし、この固体液浸型レンズにおいても、光源となる半導体レーザにおけるモードホップ時の色収差が問題になる。また、後玉の開口数（ NA ）を大きくし、前玉の屈折率を下げた方が公差的に有利であ

る。したがって、本発明に係る屈折型回折型一体型の対物レンズを後玉として用いることにより、高開口数の固体液浸型レンズを構成することができる。

【0114】〔6〕異なる仕様の光ディスクへの記録再生について

本発明に係る屈折型回折型一体型の対物レンズの片面によって生じる複数の回折光を用いて、異なる仕様の光ディスクに対する記録再生を行うことができる。すなわち、異なる厚みのディスク基板を有する仕様の異なる光ディスクでは、各ディスク基板の厚みに対する球面収差の補正がそれぞれ必要である。また、異なる開口数の対物レンズに適合された仕様の異なる光ディスクでは、その開口数に応じて対物レンズの有効径を制限することがそれぞれ必要である。このような、ディスク基板の差異に応じた球面収差の補正、及び、対物レンズの開口数を各仕様の光ディスクに適合させることを、本発明に係る対物レンズにおいては、回折型レンズの第1面によって生じる0次光と1次光、あるいは、±1次光などを使い分けることによって行うことができる。

【0115】

【実施例】以下、本発明に係る対物レンズの具体的な実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、以下の説明においては、レンズの形状については、光学設計用ソフトウェア“CODEV”に沿って定義している。また、非球面形状は、 x 、 h 、 c 、 k 、 A 、 B 、 C 、 D をそれぞれ以下のように定義したとき、

x ：光軸からの高さが h の非球面上の点の非球面頂点の接平面からの距離
 h ：光軸からの高さ
 c ：非球面頂点の曲率（ $=1/R$ ）
 k ：円錐定数
 A ：第4次の非球面係数
 B ：第6次の非球面係数
 C ：第8次の非球面係数
 D ：第10次の非球面係数
としたとき、

【0116】

【数33】

$$x = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10}$$

【0117】で表される。また、回折型レンズは、振幅型と位相型とに分けられるが、本発明において考えてい*

*るのは、主に位相型、特に効率の点から、図18に示すように、ブレード形状のものである。これは、一般のホログラムと同様に、製造時の2つの点光源を無限遠にあるとしたときの各面上での非球面的位相のずれの係数として、基板上の極座標多項式を使用して指定する。ここで、多項式の係数は、回折基準波長での光路差(OPD)をmm単位で与える。すなわち、回折型レンズ面上で光軸からの高さ R の点における回折による光路差が次式のように定義される。すなわち、

10 【0118】

【数34】

$$OPD = C1R^2 + C2R^4 + C3R^6 + C4R^8 + \dots$$

【0119】である。実際の形状は、回折を生じさせるために、図19に示すように、断続的に変化させる。すなわち、屈折率 n の媒質中の光路と空気中の光路の間に生じる光路差は $t(n-1)$ で与えられるので、回折型レンズの各輪帯の段差 d は回折基準波長を λ nmとするとき、次式の d 、もしくはその整数倍である。

【0120】

20 【数35】

$$d = \frac{\lambda \times 10^{-3}}{n-1}; n = n(\lambda)$$

【0121】つまり、光路差OPDを波長 λ で割った余りを光路差として生じる深さを表面形状に与える。

【0122】【実施例1】BaCD16（「HOYA」社製）を用いた設計例

通称SKに分類される硝材を用いて、本発明に係る対物レンズを設計することができる。一例として、BaCD16（「HOYA」社製）を用いた設計例を以下の【表2】及び【表3】に示す。また、レンズの形状を図24に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABERRATION：615nm、635nm、655nm）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図25に示し、横収差図を図26に示す。なお、上記図25及び以下の説明において、球面収差のグラフは、色収差の状態も示している（各波長（615nm、635nm、655nm）についてのグラフの差異による）。

【0123】回折基準波長は、635nmである。

【0124】設計波長は、635nm（615乃至655nm）である。

【0125】開口数は、0.7である。

【0126】

【表2】

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.49530	2.700000	BACD16_HOYA
第2面	-12.87556	1.633300	
第3面	∞	0.6	Polycarbonate
像面	∞		

【0127】

50 【表3】

23

24

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-3.3487 $\times 10^{-1}$	-1.2320 $\times 10^{-3}$	-1.9427 $\times 10^{-5}$	-3.1675 $\times 10^{-5}$	6.4472 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-1.9079 $\times 10^{-3}$	1.8882 $\times 10^{-4}$	1.1557 $\times 10^{-4}$	-5.7869 $\times 10^{-8}$	4.7317 $\times 10^{-8}$
第2面 非球面	-1.1886 $\times 10^2$	4.0961 $\times 10^{-3}$	2.8395 $\times 10^{-4}$	6.6490 $\times 10^{-5}$	-1.2197 $\times 10^{-5}$
第2面 回折	-7.5885 $\times 10^{-3}$	-1.5538 $\times 10^{-3}$	-6.9118 $\times 10^{-4}$	-1.0048 $\times 10^{-5}$	8.7708 $\times 10^{-8}$

【0128】〔実施例2〕BaCD5（「HOYA」社製）を使った設計例

通称SKに分類される硝材を用いて、本発明に係るレンズを設計することができる。一例として、BaCD5（「HOYA」社製）を用いた設計例を以下の〔表4〕及び〔表5〕に示す。また、レンズの形状を図27に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABERRATION：615 nm、635 nm、655 nm）及び非点収差（ASTIGM*

*ATIC FIELD CURVES）を図28に示し、横収差図を図210 9に示す。

【0129】回折基準波長は、635 nmである。

【0130】設計波長は、635 nm（615乃至655 nm）である。

【0131】開口数は、0.7である。

【0132】

〔表4〕

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.47912	2.60000	BACD5_HOYA
第2面	-10.96694	1.771848	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0133】

〔表5〕

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-3.2601 $\times 10^{-1}$	-9.8228 $\times 10^{-4}$	-8.3730 $\times 10^{-5}$	-4.4208 $\times 10^{-5}$	7.8483 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-1.6875 $\times 10^{-3}$	4.9682 $\times 10^{-4}$	1.1494 $\times 10^{-4}$	-1.5632 $\times 10^{-5}$	5.8260 $\times 10^{-8}$
第2面 非球面	-9.4118 $\times 10^1$	3.3217 $\times 10^{-3}$	3.9358 $\times 10^{-4}$	-4.3597 $\times 10^{-6}$	-9.3892 $\times 10^{-7}$
第2面 回折	-7.6136 $\times 10^{-3}$	-2.2660 $\times 10^{-3}$	-2.9301 $\times 10^{-4}$	-2.7963 $\times 10^{-5}$	4.6359 $\times 10^{-8}$

【0134】〔実施例3〕LaC13（「HOYA」社製）を使った設計例

通称LaKに分類される硝材を用いて、本発明に係るレンズを設計することができる。一例として、LaC13（「HOYA」社製）を用いた設計例を以下の〔表6〕及び〔表7〕に示す。また、レンズの形状を図30に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABERRATION：615 nm、635 nm、655 nm）及び非点収差（ASTIGM*

*ATIC FIELD CURVES）を図31に示し、横収差図を図32に示す。回折基準波長は、635 nmである。

【0135】設計波長は、635 nm（615乃至655 nm）である。

【0136】開口数は、0.7である。

【0137】

〔表6〕

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.50837	2.200000	LAC13_HOYA
第2面	-32.57069	1.714737	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0138】

〔表7〕

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-2.7879 $\times 10^{-1}$	-1.2439 $\times 10^{-3}$	-1.1451 $\times 10^{-4}$	-1.6027 $\times 10^{-5}$	4.8835 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-3.5391 $\times 10^{-3}$	4.8846 $\times 10^{-4}$	2.4717 $\times 10^{-4}$	1.9380 $\times 10^{-6}$	4.3873 $\times 10^{-8}$
第2面 非球面	-5.3014 $\times 10^2$	6.9256 $\times 10^{-3}$	7.9897 $\times 10^{-5}$	-1.2483 $\times 10^{-8}$	-4.8127 $\times 10^{-6}$
第2面 回折	-4.8023 $\times 10^{-3}$	-4.0022 $\times 10^{-3}$	-6.2545 $\times 10^{-4}$	5.1538 $\times 10^{-5}$	3.7449 $\times 10^{-6}$

【0139】〔実施例4〕FD13（「HOYA」社製）を使った設計例

通称SFに分類される硝材を用いて、本発明に係るレンズを設計することができる。一例として、FD13

（「HOYA」社製）を用いた設計例を以下の〔表8〕及び〔表9〕に示す。また、レンズの形状を図33に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABER：615 nm、635 nm、655 nm）及び非点収差（ASTIGM*

*ATIC FIELD CURVES）を図34に示し、横収差図を図35に示す。

【0140】回折基準波長は、635 nmである。

【0141】設計波長は、635 nm（615乃至655 nm）である。

【0142】開口数は、0.7である。

【0143】

〔表8〕

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.54484	2.090723	FD13, HOYA
第2面	-2254.49572	1.644814	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0144】

〔表9〕

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-2.7753 $\times 10^{-1}$	-1.0328 $\times 10^{-3}$	1.0541 $\times 10^{-4}$	7.0332 $\times 10^{-6}$	5.7009 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-6.7882 $\times 10^{-3}$	5.2433 $\times 10^{-4}$	2.6994 $\times 10^{-4}$	5.8203 $\times 10^{-6}$	6.9209 $\times 10^{-8}$
第2面 非球面	-5.3014 $\times 10^2$	7.2230 $\times 10^{-3}$	-2.0291 $\times 10^{-5}$	3.0282 $\times 10^{-8}$	-5.2940 $\times 10^{-6}$
第2面 回折	-8.7964 $\times 10^{-3}$	-4.3252 $\times 10^{-3}$	-8.4188 $\times 10^{-4}$	4.5496 $\times 10^{-5}$	6.6874 $\times 10^{-6}$

【0145】〔実施例5〕FDS3（「HOYA」社製）を使った設計例

通称SFSに分類される硝材を用いて、本発明に係るレンズを設計することができる。一例としてFDS3

（「HOYA」社製）を用いた設計例を以下の〔表10〕及び〔表11〕に示す。また、レンズの形状を図36に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABER：※

※615 nm、635 nm、655 nm）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図37に示し、横収差図を図38に示す。回折基準波長は、635 nmである。設計波長は、635 nm（615乃至655 nm）である。開口数は、0.7である。

【0146】

〔表10〕

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.59340	3.000000	FDS3, HOYA
第2面	-32.78901	1.000000	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0147】

〔表11〕

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-5.0579 $\times 10^{-1}$	6.6047 $\times 10^{-4}$	1.5724 $\times 10^{-4}$	4.6060 $\times 10^{-5}$	-9.5618 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-9.5661 $\times 10^{-3}$	-1.6881 $\times 10^{-4}$	2.2255 $\times 10^{-4}$		
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^3$	1.9881 $\times 10^{-2}$	-7.2287 $\times 10^{-3}$	1.0394 $\times 10^{-3}$	-4.5443 $\times 10^{-5}$
第2面 回折	-4.3464 $\times 10^{-3}$	-1.1215 $\times 10^{-2}$	1.4676 $\times 10^{-3}$		

【0148】〔実施例6〕LaF20（「SCHOTT」社製）を使った設計例

通称LaFに分類される硝材を用いて、本発明に係るレンズを設計することができる。一例として、LaF20（「SCHOTT」社製）を用いた設計例を以下の〔表12〕及び〔表13〕に示す。また、レンズの形状を図39に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABER：615nm、635nm、655nm）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図40に示し、横収差図を図41に示す。

10 VES）を図40に示し、横収差図を図41に示す。

【0149】回折基準波長は、635nmである。

【0150】設計波長は、635nm（615乃至655nm）である。

【0151】開口数は、0.7である。

【0152】

【表12】

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.47831	3.000000	LAF20_SCHOTT
第2面	-34.13194	1.276725	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0153】

【表13】

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-5.3212 $\times 10^{-1}$	1.2548 $\times 10^{-3}$	-6.9744 $\times 10^{-5}$	2.6871 $\times 10^{-5}$	2.6871 $\times 10^{-5}$
第1面 回折	-1.3563 $\times 10^{-3}$	3.2799 $\times 10^{-4}$			
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^3$	6.4168 $\times 10^{-3}$	-2.4612 $\times 10^{-3}$	2.9544 $\times 10^{-4}$	-4.9169 $\times 10^{-6}$
第2面 回折	-1.7898 $\times 10^{-2}$	6.2544 $\times 10^{-4}$			

【0154】〔実施例7〕LaF81（「HOYA」社製）を使った設計例

通称LaFに分類される硝材を用いて、本発明に係るレンズを設計することができる。一例として、LaF81（「HOYA」社製）を用いた設計例を以下の〔表14〕及び〔表15〕に示す。また、レンズの形状を図42に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABER：615nm、635nm、655nm）及び非点収差 ※

※（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図43に示し、横収差図を図44に示す。

【0155】回折基準波長は、635nmである。

【0156】設計波長は、635nm（615乃至655nm）である。

【0157】開口数は、0.7である。

【0158】

【表14】

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.25857	2.000000	LaF81_HOYA
第2面	-181.72051	1.402274	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0159】

【表15】

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-5.0124 $\times 10^{-1}$	1.8499 $\times 10^{-3}$	2.1822 $\times 10^{-4}$	6.3335 $\times 10^{-5}$	1.1996 $\times 10^{-5}$
第1面 回折	-2.6284 $\times 10^{-3}$	1.4530 $\times 10^{-3}$	1.6554 $\times 10^{-4}$	6.0672 $\times 10^{-5}$	4.2423 $\times 10^{-6}$
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^3$	1.4059 $\times 10^{-2}$	-1.8243 $\times 10^{-3}$	2.9877 $\times 10^{-4}$	-2.6984 $\times 10^{-5}$
第2面 回折	-1.5106 $\times 10^{-2}$	-7.3709 $\times 10^{-3}$			

【0160】〔実施例8〕NbFD82（「HOYA」社製）を使った設計例

通称NbSFに分類される硝材を用いて、本発明に係るレンズを設計することができる。一例として、NbFD82（「HOYA」社製）を用いた設計例を以下の〔表16〕及び〔表17〕に示す。また、レンズの形状を図45に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABE R：615nm、635nm、655nm）及び非点収 *

*差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図46に示し、横収差図を図47に示す。

【0161】回折基準波長は、635nmである。

【0162】設計波長は、635nm（615乃至655nm）である。

【0163】開口数は、0.7である。

【0164】

【表16】

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.002206	1.600000	NbFD82
第2面	31.126216	1.11956998	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0165】

【表17】

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-4.2718 $\times 10^{-1}$	3.9164 $\times 10^{-3}$	1.1617 $\times 10^{-3}$	5.4778 $\times 10^{-5}$	5.4134 $\times 10^{-5}$
第1面 回折	-3.8032 $\times 10^{-3}$	4.6503 $\times 10^{-3}$	8.5358 $\times 10^{-4}$	2.0511 $\times 10^{-4}$	-1.2359 $\times 10^{-6}$
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^3$	2.3594 $\times 10^{-2}$	-1.0095 $\times 10^{-3}$	1.5560 $\times 10^{-3}$	-3.2234 $\times 10^{-4}$
第2面 回折	-2.1272 $\times 10^{-2}$	-1.3334 $\times 10^{-2}$	-4.5161 $\times 10^{-3}$	1.8688 $\times 10^{-4}$	4.4014 $\times 10^{-5}$

【0166】〔実施例9〕開口数を0.9まで上げた設計例

ここまで、開口数が0.7程度の対物レンズの設計例を示してきたが、この開口数を最大で0.9程度とする設計が、本発明に係る対物レンズにおいて可能である。この設計例を以下の〔表18〕及び〔表19〕に示す。また、レンズの形状を図48に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABER：615nm、635nm、655nm）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図49に示し、横収差図を図50に示す。

※5nm）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図49に示し、横収差図を図50に示す。

【0167】回折基準波長は、635nmである。

【0168】設計波長は、635nm（615乃至655nm）である。

【0169】開口数は、0.9である。

【0170】

【表18】

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.61499	3.00000	FDS3_HOYA
第2面	33.13402	1.132790	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0171】

【表19】

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-4.4306 $\times 10^{-1}$	4.6031 $\times 10^{-4}$	1.0700 $\times 10^{-4}$	4.2841 $\times 10^{-5}$	8.8756 $\times 10^{-7}$
第1面 回折	-1.0728 $\times 10^{-2}$	-4.2858 $\times 10^{-4}$			
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^{-3}$	1.8494 $\times 10^{-2}$	-3.8870 $\times 10^{-3}$	4.4677 $\times 10^{-4}$	-2.1358 $\times 10^{-5}$
第2面 回折	3.4315 $\times 10^{-3}$	-1.0577 $\times 10^{-3}$			

【0172】〔実施例10〕Ga_{0.4}N_{0.6}などの青色半導体レーザー用対物レンズの設計例

近年、短波長半導体レーザーの開発が行われている。本発明は、これらの短波長光源と組み合わせることにより、より一層の高密度記録が達成できる対物レンズを提供することができる。最近では、Ga_{0.4}N_{0.6}を用いた410nmの半導体レーザーの室温発振が報告されている。この半導体レーザーを光源に使用した場合の設計例を以下の〔表20〕及び〔表21〕に示す。また、レンズの形状を図51に示し、球面収差 (LONGITUDINAL SPHERICAL A*

*BER: 400nm、410nm、420nm) 及び非点収差 (ASTIGMATIC FIELD CURVES) を図52に示し、横収差図を図53に示す。

【0173】回折基準波長は、410nmである。

【0174】設計波長は、410nm (430乃至410nm) である。

【0175】開口数は、0.75である。

【0176】

〔表20〕

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.42179	2.5000	LaF20_HOYA
第2面	-157.40426	1.287016	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0177】

〔表21〕

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-4.6836 $\times 10^{-1}$	8.1738 $\times 10^{-4}$	4.1076 $\times 10^{-5}$	5.9397 $\times 10^{-5}$	4.7659 $\times 10^{-8}$
第1面 回折	-7.0892 $\times 10^{-3}$	5.7028 $\times 10^{-4}$	4.2039 $\times 10^{-5}$	8.5141 $\times 10^{-5}$	2.7984 $\times 10^{-7}$
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^{-3}$	1.3584 $\times 10^{-2}$	-1.7489 $\times 10^{-3}$	4.2811 $\times 10^{-4}$	-5.8130 $\times 10^{-5}$
第2面 回折	-2.2537 $\times 10^{-2}$	-4.7417 $\times 10^{-3}$	-1.3094 $\times 10^{-3}$	1.6528 $\times 10^{-4}$	2.0596 $\times 10^{-6}$

【0178】〔実施例11〕ZnSeなどの緑色半導体レーザー用対物レンズの設計例

ZnSeを用いた発光波長515nmの半導体レーザーの室温発振が報告されている。この半導体レーザーを光源に使用した場合の設計例を以下の〔表22〕及び〔表23〕に示す。また、レンズの形状を図54に示し、球面収差 (LONGITUDINAL SPHERICAL ABERRATION: 505nm、515nm、525nm) 及び非点収差 (ASTIGMATIC FIELD CURVES) を図55に示し、横収差図を図56に示す。

※LD CURVES) を図55に示し、横収差図を図56に示す。

【0179】回折基準波長は、515nmである。

【0180】設計波長は、515nmである。

【0181】開口数は、0.75である。

【0182】

〔表22〕

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.37633	2.6000	LaF20_HOYA
第2面	-29.79905	1.275299	
第3面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0183】

〔表23〕

33

34

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-4.9298 $\times 10^{-1}$	1.9007 $\times 10^{-3}$	5.5735 $\times 10^{-5}$	9.1531 $\times 10^{-5}$	3.7803 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-3.7050 $\times 10^{-4}$	1.5537 $\times 10^{-3}$	1.3869 $\times 10^{-4}$	5.7561 $\times 10^{-5}$	1.0283 $\times 10^{-6}$
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^3$	1.5268 $\times 10^{-2}$	-1.2298 $\times 10^{-3}$	2.0430 $\times 10^{-4}$	-5.1671 $\times 10^{-5}$
第2面 回折	-2.8010 $\times 10^{-2}$	-1.0126 $\times 10^{-2}$	5.1188 $\times 10^{-4}$	-2.4802 $\times 10^{-4}$	6.1752 $\times 10^{-5}$

【0184】〔実施例12〕0次光と1次光とを用いた高開口数二重焦点レンズの設計例

本発明に係る対物レンズにおいては、回折型レンズのうち第1面によって生じる複数の回折光のそれぞれを、異なる仕様の光ディスクに対する記録再生のために用いることができる。例えば、回折型レンズの第1面によって生じる0次光と1次光とを、以下に示すようなフォーマットの光ディスクの記録再生に用いることができる。この場合の設計例を以下の〔表24〕、〔表25〕及び〔表26〕に示す。また、レンズの形状を図57（ポジション1）及び図61（ポジション2）に示し、この対物レンズの伝達関数（モジュレーション・トランスファ

*及び図62（ポジション2）に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABERRATION）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図59（ポジション1）及び図63（ポジション2）に示し、横収差図を図60（ポジション1）及び図64（ポジション2）に示す。

【0185】回折基準波長は、635nmである。

【0186】設計波長は、635nm（625nm乃至645nm）である。

【0187】開口数は、0.75と0.45である。

【0188】

〔表24〕

仕様	開口数	基板厚	回折光	作動距離
高開口数	0.75	0.6	0次光	1.603874
低開口数	0.45	1.2	1次光	1.003874

【0189】

〔表25〕

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.38380	2.40000	LaF20_HOYA
第2面	-83.26645	1.603874 (1.03874)	
第3面	∞	0.6(1.2)	PC
像面	∞		

【0190】

〔表26〕

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-6.7667 $\times 10^{-1}$	1.7336 $\times 10^{-3}$	1.3982 $\times 10^{-4}$	4.2196 $\times 10^{-5}$	-3.1941 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-2.6001 $\times 10^{-3}$	-5.9575 $\times 10^{-4}$	-3.6670 $\times 10^{-5}$	1.8335 $\times 10^{-5}$	-3.3178 $\times 10^{-6}$
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^3$	8.2598 $\times 10^{-3}$	-1.1112 $\times 10^{-3}$	1.1140 $\times 10^{-4}$	-5.2853 $\times 10^{-6}$
第2面 回折	-3.1462 $\times 10^{-2}$	2.9180 $\times 10^{-3}$	-6.8762 $\times 10^{-4}$	6.8767 $\times 10^{-4}$	-5.0763 $\times 10^{-4}$

【0191】〔実施例13〕 ± 1 次光を用いた高NA二重焦点レンズ設計例

本発明に係る対物レンズにおいては、回折型レンズのうちの第1面によって生じる複数の回折光のそれぞれを、異なる仕様の光ディスクの記録再生のために用いることができる。例えば、回折型レンズの第1面によって生じる ± 1 次光を、以下に示すようなフォーマットの光ディスクの記録再生のために用いることができる。この場合の設計例を以下の〔表27〕、〔表28〕及び〔表2

9〕に示す。また、レンズの形状を図65（ポジション1）及び図68（ポジション2）に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABERRATION）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図66（ポジション1）及び図69（ポジション2）に示し、横収差図を図67（ポジション1）及び図70（ポジション2）に示す。

【0192】回折基準波長は、635nmである。

【0193】設計波長は、635nm（625nm乃至

645nm)である。

*【0195】

【0194】開口数は、0.75と0.45である。 * 【表27】

仕様	開口数	基板厚	回折光	作動距離
高開口数	0.75	0.6	+1次光	1.662478
低開口数	0.45	1.2	-1次光	1.062478

【0196】

【表28】

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.56083	2.60000	LaF20_HOYA
第2面	-32.65587	1.662478 (1.062478)	
第3面	∞	0.6(1.2)	PC
像面	∞		

【0197】

【表29】

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-8.9353 $\times 10^{-1}$	2.4726 $\times 10^{-3}$	-5.5343 $\times 10^{-4}$	1.6343 $\times 10^{-4}$	-9.0008 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	-8.0075 $\times 10^{-3}$	-2.4349 $\times 10^{-4}$	-4.3696 $\times 10^{-4}$	1.0874 $\times 10^{-4}$	-8.6302 $\times 10^{-6}$
第2面 非球面	-1.9608 $\times 10^3$	5.4327 $\times 10^{-3}$	-5.2666 $\times 10^{-4}$	1.4288 $\times 10^{-4}$	-2.1855 $\times 10^{-5}$
第2面 回折	1.4786 $\times 10^{-2}$	-1.4719 $\times 10^{-3}$	3.1183 $\times 10^{-4}$	-8.1612 $\times 10^{-5}$	1.4380 $\times 10^{-5}$

【0198】〔実施例14〕本発明に係る屈折型回折型一体型レンズを固体液浸型レンズの後玉として使う場合の設計例

半球状のレンズ（前玉）の平面部を光ディスクに略々密着させ、この半球状のレンズの後方側に非球面レンズを配置して、顕微鏡の液浸レンズと同様の原理により、該半球状のレンズの屈折率分だけ（約1.5倍に）開口数（NA）を上げる固体液浸型レンズが提案されている。ここでも、光源となる半導体レーザにおけるモードホップにより生じる色収差は問題である。また、後玉のパワーが高い方が設計上、公差的に有利である。そこで、本※

※発明に係る屈折型回折型一体型レンズを上記非球面レンズ（後玉）として用いることが有効である。この場合の設計例を以下の〔表30〕及び〔表31〕に示す。また、レンズの形状を図71に示し、球面収差（LONGITUDINAL SPHERICAL ABERRATION）及び非点収差（ASTIGMATIC FIELD CURVES）を図72に示し、横収差図を図73に示す。

【0199】回折基準波長は、635nmである。

【0200】設計波長は、635nmである。

【0201】開口数は、1.0である。

【0202】

【表30】

	曲率半径	面間隔	硝材
第1面	2.10830	1.8000	LaF2_HOYA
第2面	-213.03532	0.908887	
第3面	1.25000	1.077928	BK7_HOYA
第4面	∞	0.005000	
第5面	∞	0.6	PC
像面	∞		

【0203】

【表31】

	K(C1)	A(C2)	B(C3)	C(C4)	D(C5)
第1面 非球面	-2.4102 $\times 10^{-1}$	-1.0084 $\times 10^{-3}$	-1.7560 $\times 10^{-4}$	-1.5441 $\times 10^{-4}$	4.9973 $\times 10^{-6}$
第1面 回折	1.4663 $\times 10^{-2}$	2.8311 $\times 10^{-3}$	8.3814 $\times 10^{-5}$	-1.2124 $\times 10^{-4}$	1.0202 $\times 10^{-5}$
第2面 非球面	4.4285 $\times 10^2$	1.3688 $\times 10^{-3}$	2.9981 $\times 10^{-3}$	-6.5647 $\times 10^{-4}$	8.5700 $\times 10^{-6}$

【0204】

【発明の効果】上述のように、本発明に係る対物レンズ

は、第1面及び第2面の両面が非球面である単玉レンズであって、該両面上にそれぞれ位相型回折型レンズを有

することにより、開口数が 0.7 以上であって、色収差が補正された屈折型回折型一体型の対物レンズとなっている。

【0205】したがって、この対物レンズは、光ディスクに対する情報信号の記録再生を行う光学ピックアップ装置に適用されることにより、高解像力化と色収差補正によるモードホップノイズの影響低減を図ることができる、高密度の情報記録を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】両面非球面の屈折型レンズの形状を示す縦断面図である。

【図 2】片面に回折型レンズが一体的に形成された両面非球面の屈折型レンズの形状を示す縦断面図である。

【図 3】両面に回折型レンズが一体的に形成された両面非球面の屈折型レンズである本発明に係る対物レンズの形状を示す縦断面図である。

【図 4】回折型レンズの球面係数による波面の位相を示すグラフである。

【図 5】回折型レンズの非球面係数によるピッチの緩和を示すグラフである。

【図 6】1 次回折光を用いた回折型レンズの断面形状を示す要部拡大縦断面図である。

【図 7】2 次回折光を用いた回折型レンズの断面形状を示す要部拡大縦断面図である。

【図 8】3 次回折光を用いた回折型レンズの断面形状を示す要部拡大縦断面図である。

【図 9】4 次回折光を用いた回折型レンズの断面形状を示す要部拡大縦断面図である。

【図 10】正のゾーンプレートの構成を示す正面図である。

【図 11】負のゾーンプレートの構成を示す正面図である。

【図 12】濃度型ゾーンプレートの構成を示す正面図である。

【図 13】位相型ゾーンプレートの構成を示す正面図である。

【図 14】濃度型ゾーンプレートにおける結像状態を示す側面図である。

【図 15】位相型ゾーンプレートにおける結像状態を示す側面図である。

【図 16】位相型フレネルゾーンプレートの形状を示す拡大縦断面図である。

【図 17】ブレード形状位相型回折型レンズの形状を示す拡大縦断面図である。

【図 18】回折型レンズの形状（第 1 の形状）と透過波面との関係を示すグラフである。

【図 19】回折型レンズの形状（第 2 の形状）と透過波面との関係を示すグラフである。

【図 20】アフォーカル系の正弦条件を説明するためのレンズの側面図である。

【図 21】回折型レンズの作用を示すためのレンズの要部拡大縦断面図である。

【図 22】回折型レンズの作用を示すためのレンズの縦断面図である。

【図 23】本発明に係る対物レンズを用いて構成された本発明に係る光学ピックアップ装置の構成を示す側面図である。

【図 24】本発明に係る対物レンズの第 1 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 25】本発明に係る対物レンズの第 1 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 26】本発明に係る対物レンズの第 1 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 27】本発明に係る対物レンズの第 2 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 28】本発明に係る対物レンズの第 2 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 29】本発明に係る対物レンズの第 2 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 30】本発明に係る対物レンズの第 3 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 31】本発明に係る対物レンズの第 3 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 32】本発明に係る対物レンズの第 3 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 33】本発明に係る対物レンズの第 4 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 34】本発明に係る対物レンズの第 4 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 35】本発明に係る対物レンズの第 4 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 36】本発明に係る対物レンズの第 5 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 37】本発明に係る対物レンズの第 5 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 38】本発明に係る対物レンズの第 5 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 39】本発明に係る対物レンズの第 6 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 40】本発明に係る対物レンズの第 6 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 41】本発明に係る対物レンズの第 6 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 42】本発明に係る対物レンズの第 7 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 43】本発明に係る対物レンズの第 7 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 44】本発明に係る対物レンズの第 7 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 45】本発明に係る対物レンズの第 8 の実施例にお

39

ける形状を示す側面図である。

【図 4 6】本発明に係る対物レンズの第 8 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 4 7】本発明に係る対物レンズの第 8 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 4 8】本発明に係る対物レンズの第 9 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 4 9】本発明に係る対物レンズの第 9 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 5 0】本発明に係る対物レンズの第 9 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 5 1】本発明に係る対物レンズの第 1 0 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 5 2】本発明に係る対物レンズの第 1 0 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 5 3】本発明に係る対物レンズの第 1 0 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 5 4】本発明に係る対物レンズの第 1 1 の実施例における形状を示す側面図である。

【図 5 5】本発明に係る対物レンズの第 1 1 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 5 6】本発明に係る対物レンズの第 1 1 の実施例における横収差を示すグラフである。

【図 5 7】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 1）における形状を示す側面図である。

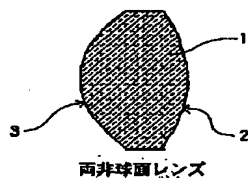
【図 5 8】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 1）における伝達関数（モジュレーション・トランスファ・ファンクション：MTF）を示すグラフである。

【図 5 9】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 1）における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 6 0】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 1）における横収差を示すグラフである。

【図 6 1】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 2）における形状を示す側面図である。

【図 1】



40

【図 6 2】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 2）における伝達関数（モジュレーション・トランスファ・ファンクション：MTF）を示すグラフである。

【図 6 3】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 2）における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 6 4】本発明に係る対物レンズの第 1 2 の実施例（ポジション 2）における横収差を示すグラフである。

【図 6 5】本発明に係る対物レンズの第 1 3 の実施例（ポジション 1）における形状を示す側面図である。

【図 6 6】本発明に係る対物レンズの第 1 3 の実施例（ポジション 1）における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 6 7】本発明に係る対物レンズの第 1 3 の実施例（ポジション 1）における横収差を示すグラフである。

【図 6 8】本発明に係る対物レンズの第 1 3 の実施例（ポジション 2）における形状を示す側面図である。

【図 6 9】本発明に係る対物レンズの第 1 3 の実施例（ポジション 2）における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 7 0】本発明に係る対物レンズの第 1 3 の実施例（ポジション 2）における横収差を示すグラフである。

【図 7 1】本発明に係る対物レンズの第 1 4 の実施例における形状を示す側面図である。

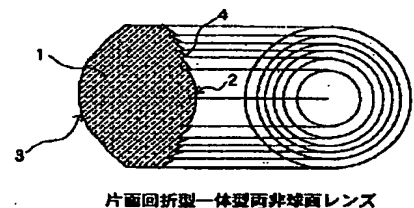
【図 7 2】本発明に係る対物レンズの第 1 4 の実施例における球面収差及び非点収差を示すグラフである。

【図 7 3】本発明に係る対物レンズの第 1 4 の実施例における横収差を示すグラフである。

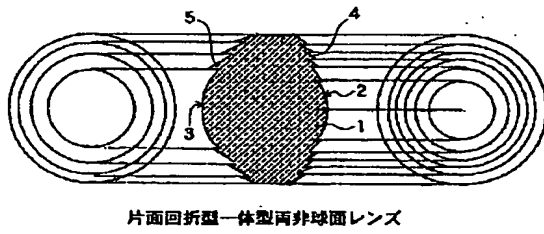
【符号の説明】

1 両面非球面レンズ、2 第 1 面、3 第 2 面、4、
5 回折型レンズ、12 スキュープレート（凸）、1
3 スキュープレート（凹）、17 ディテクタ、19
半導体レーザ、20 スキューセンサ、21 サーボ
回路、23 光ディスク

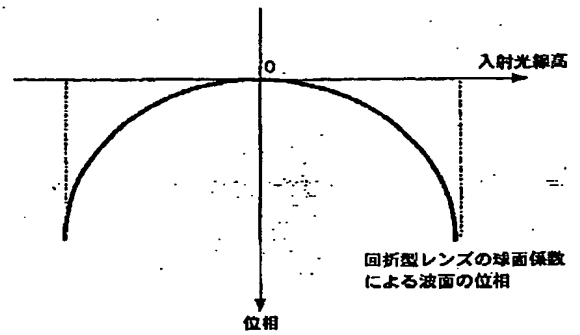
【図 2】



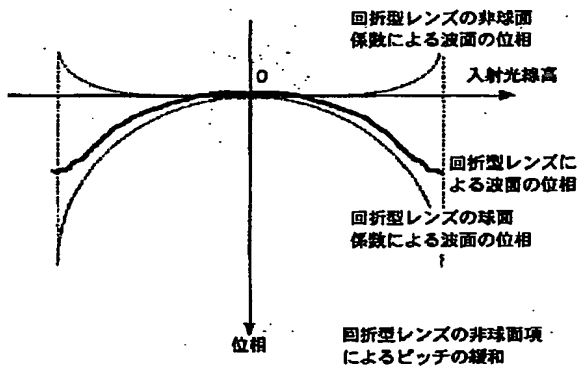
【図3】



【図4】



【図5】



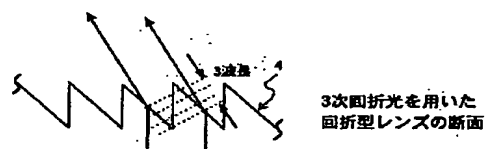
【図6】



【図7】



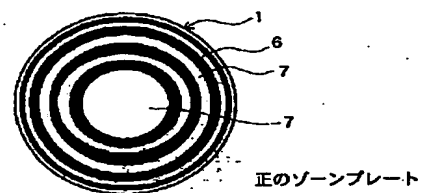
【図8】



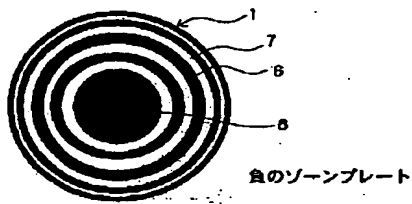
【図9】



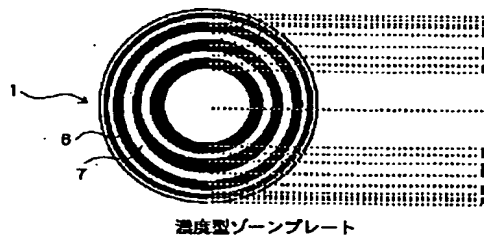
【図10】



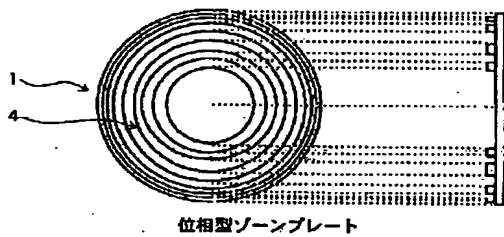
【図11】



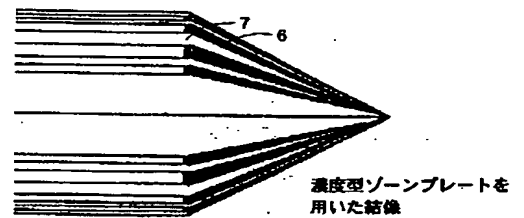
【図12】



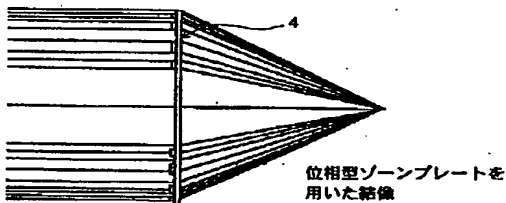
【図13】



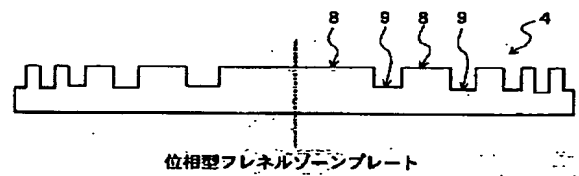
【図14】



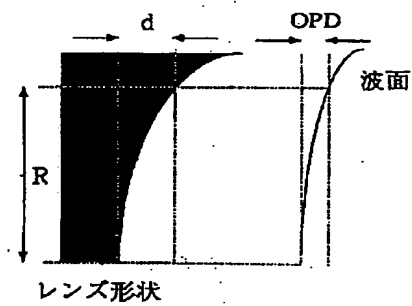
【図15】



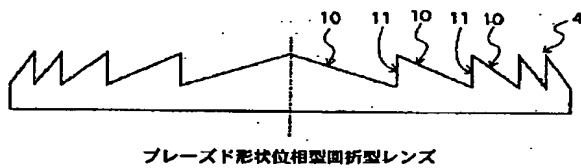
【図16】



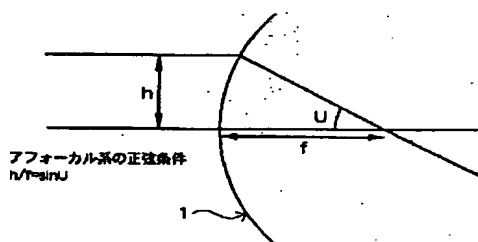
【図18】



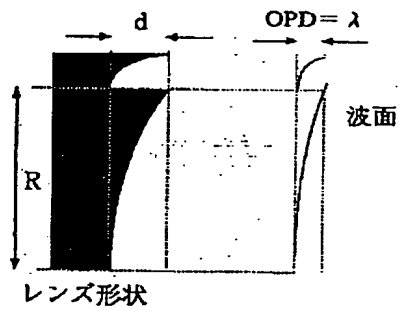
【図17】



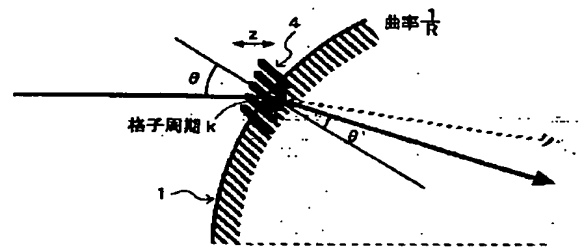
【図20】



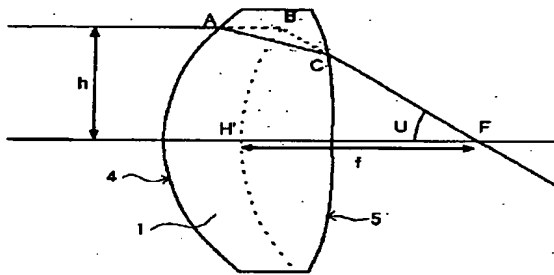
【図19】



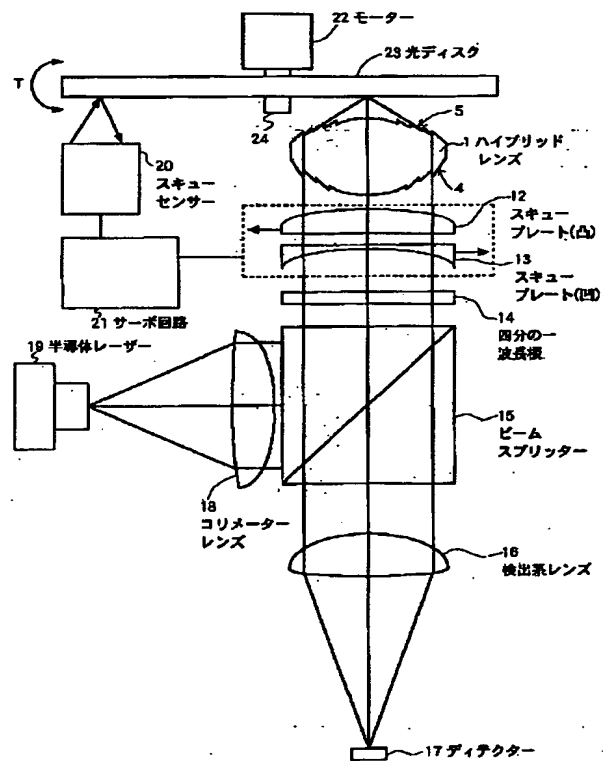
【図21】



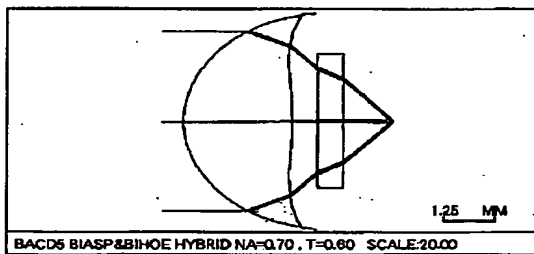
【図22】



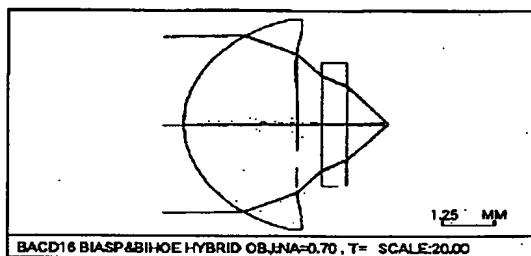
【図23】



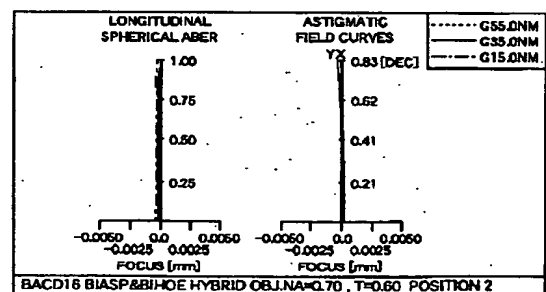
【図27】



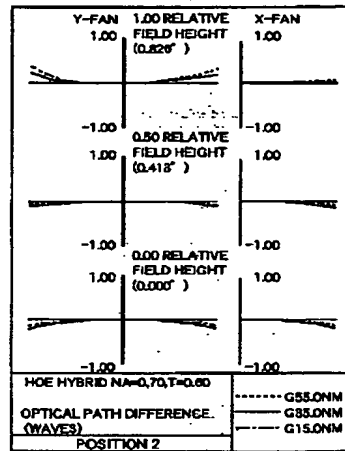
【図24】



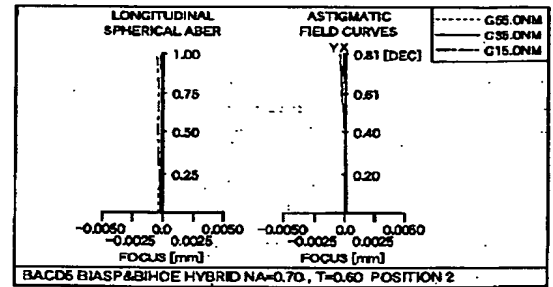
【図25】



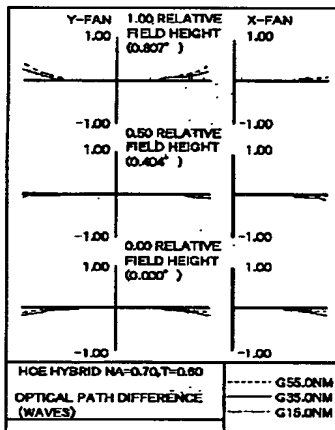
【図26】



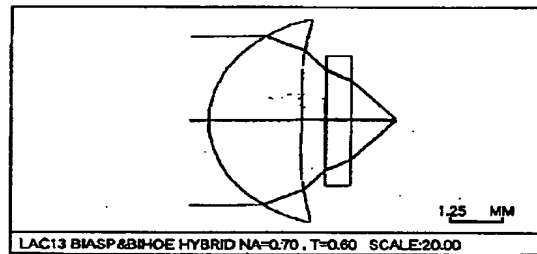
【図28】



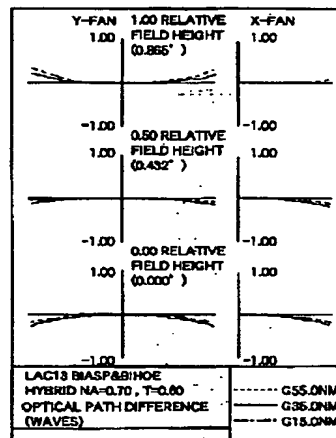
【図29】



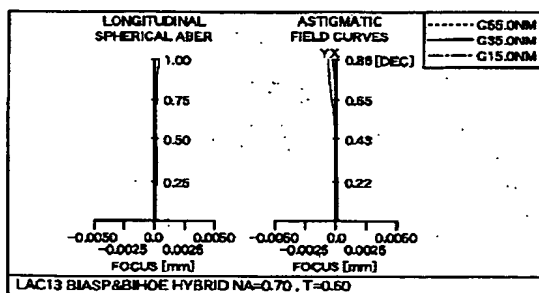
【図30】



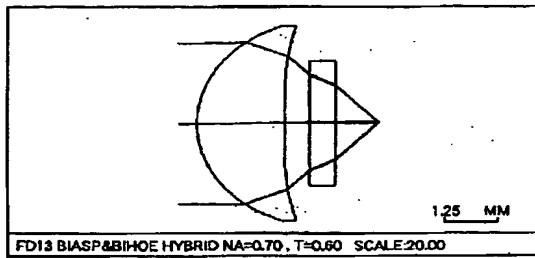
【図32】



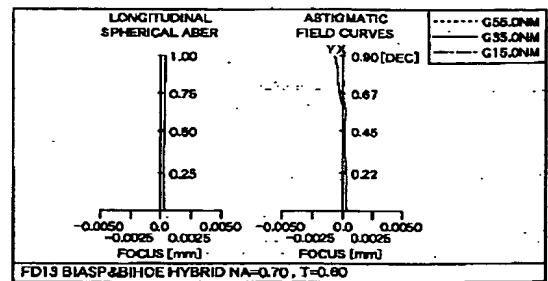
【図31】



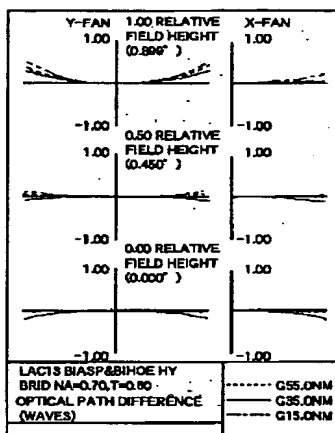
【図33】



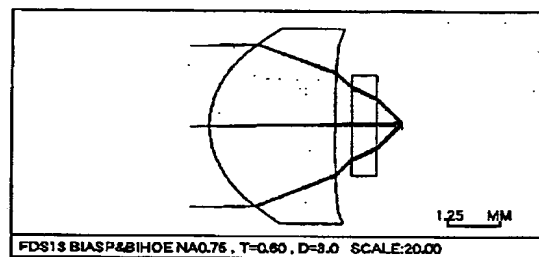
【図34】



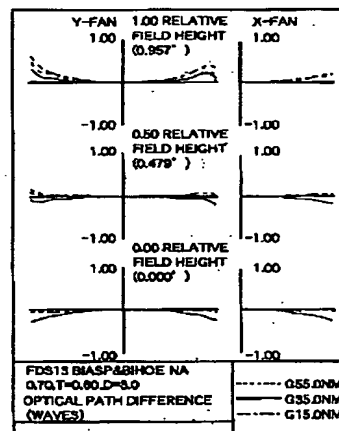
【図35】



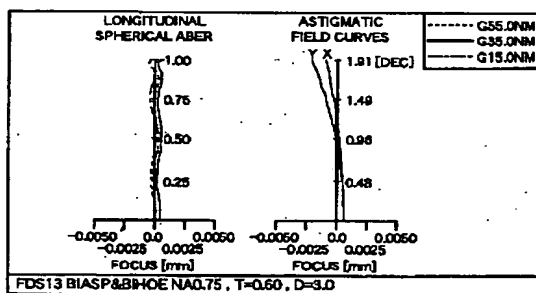
【図36】



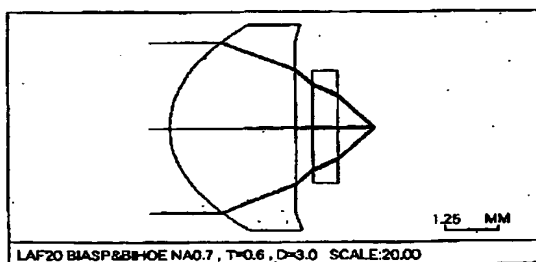
【図38】



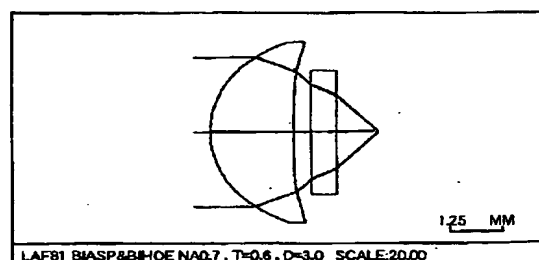
【図37】



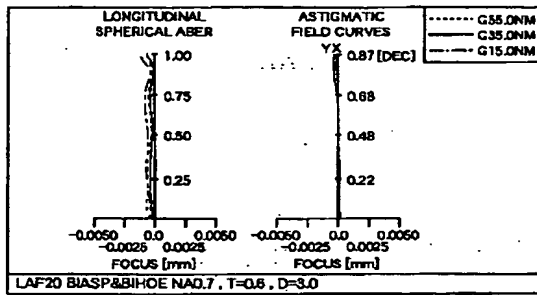
【図39】



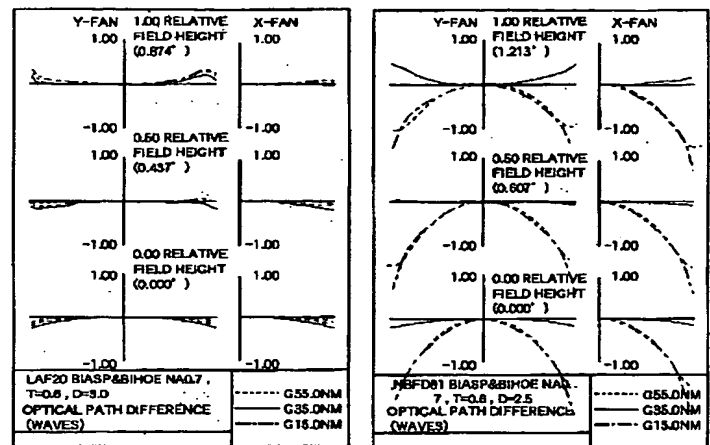
【図42】



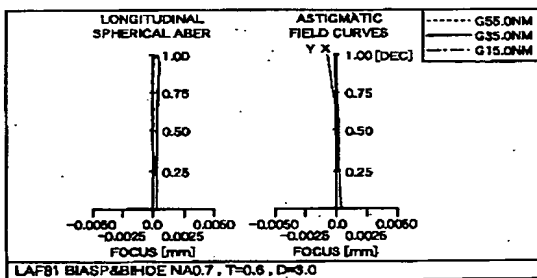
【図40】



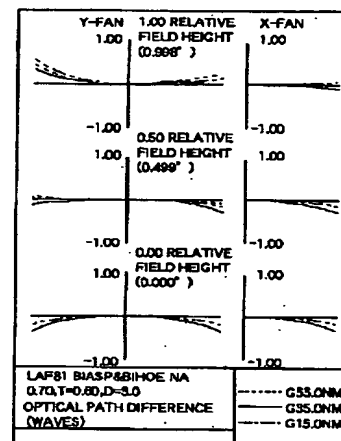
【図41】



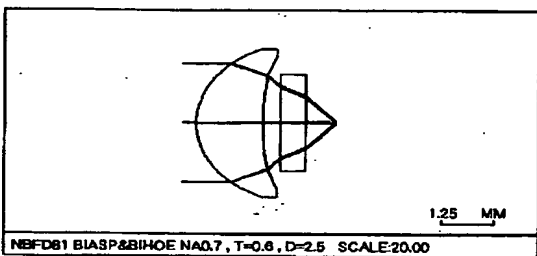
【図43】



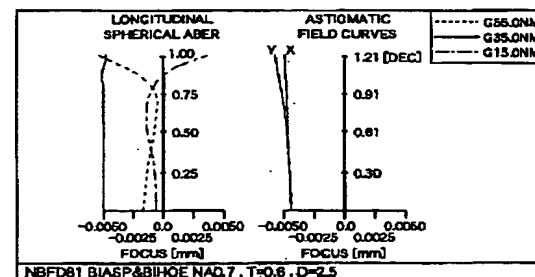
【図44】



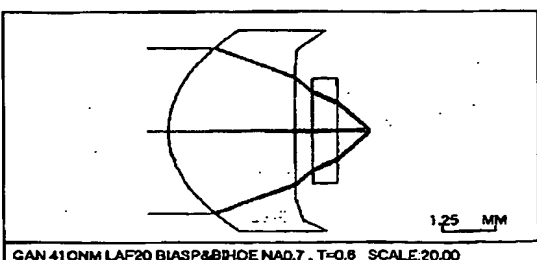
【図45】



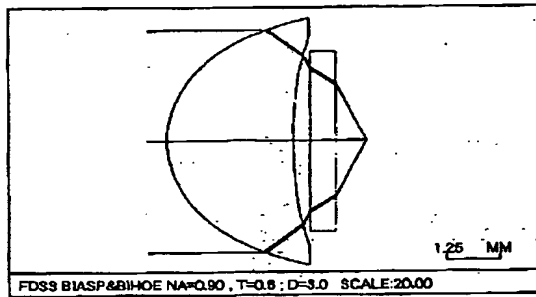
【図46】



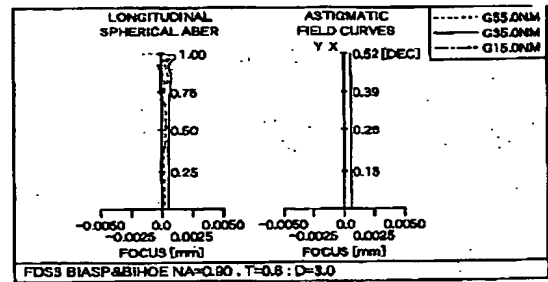
【図51】



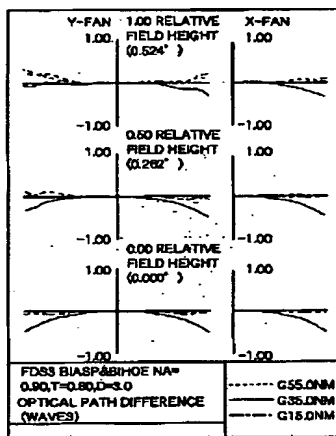
【図48】



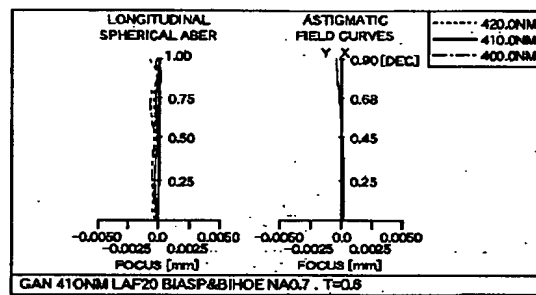
【図49】



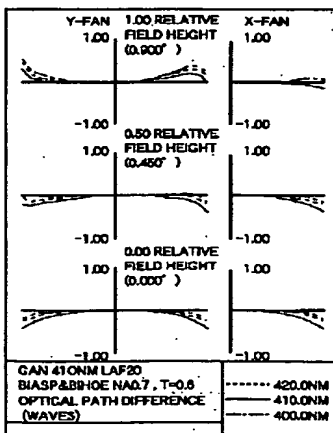
【図50】



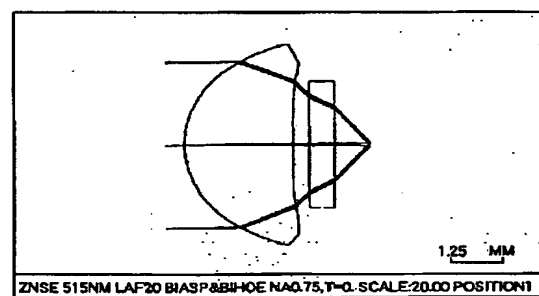
【図52】



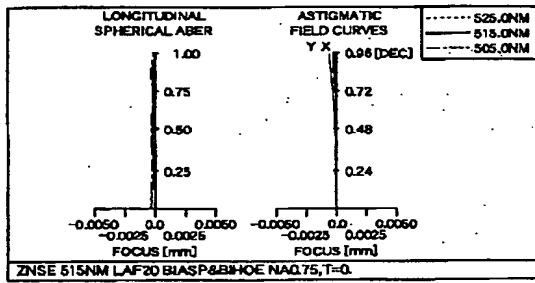
【図53】



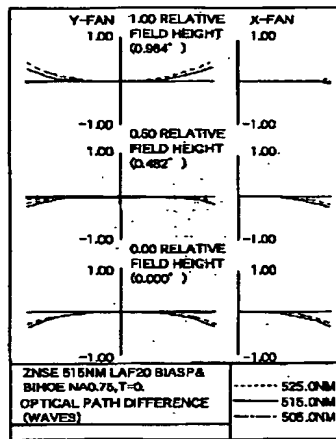
【図54】



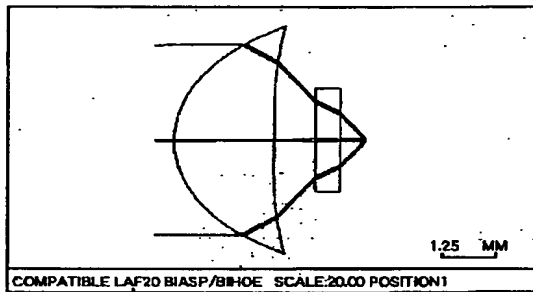
【図55】



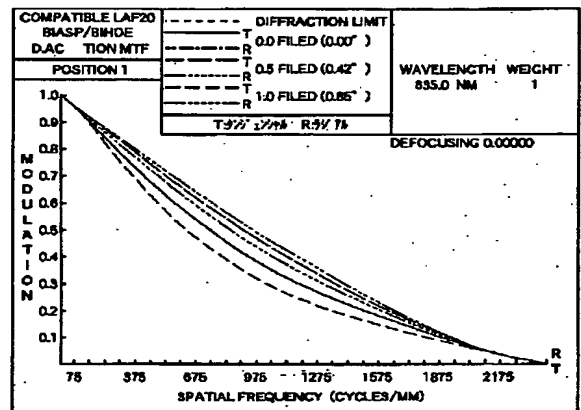
【図56】



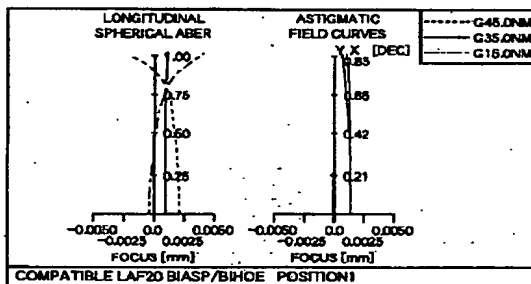
【図57】



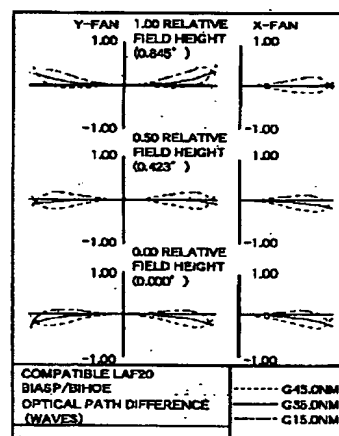
【図58】



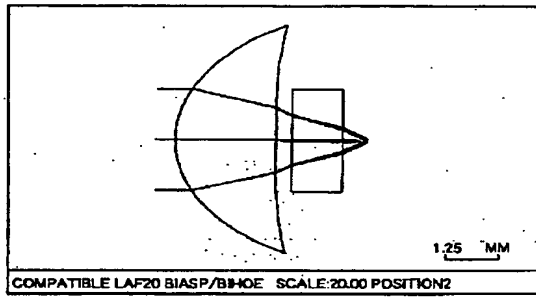
【図59】



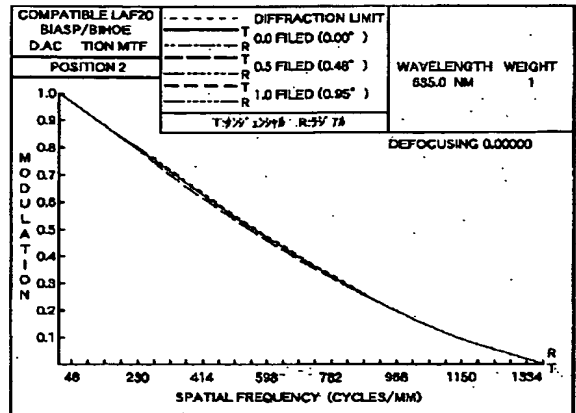
【図60】



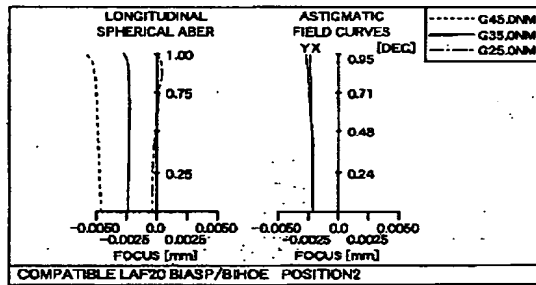
【図61】



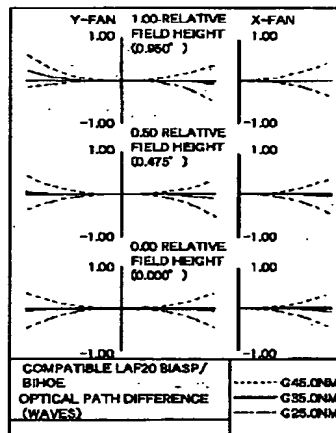
【図62】



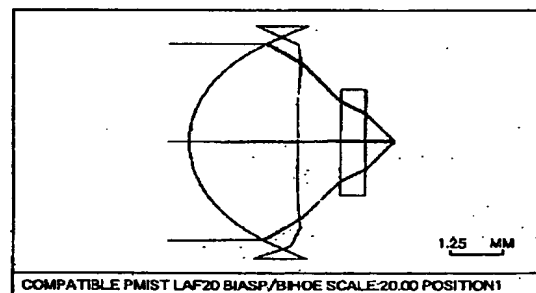
【図63】



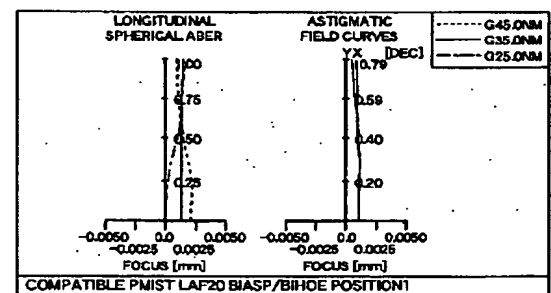
【図64】



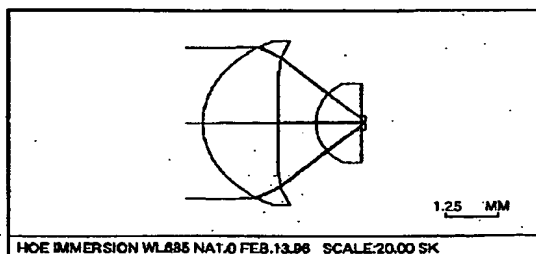
【図65】



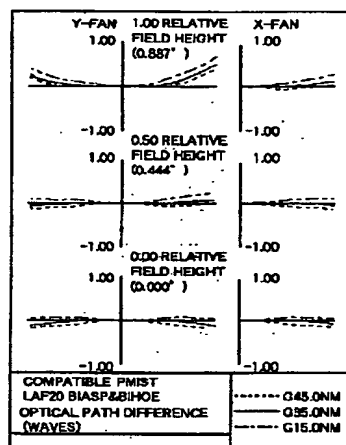
【図66】



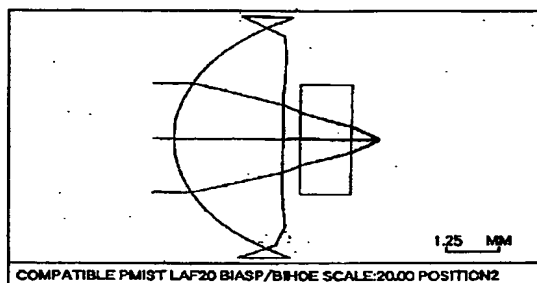
【図71】



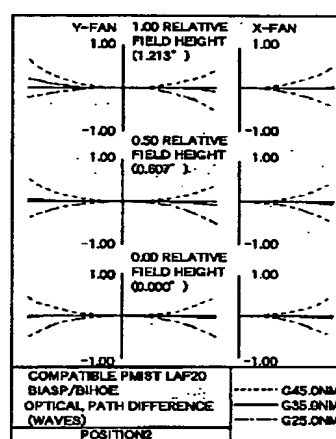
【図67】



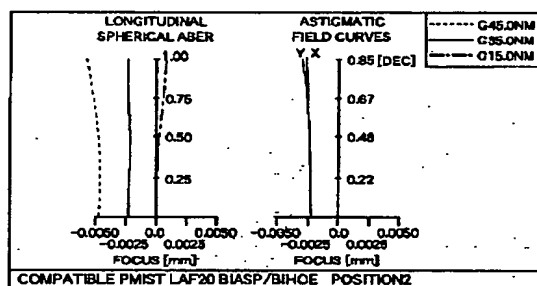
【図68】



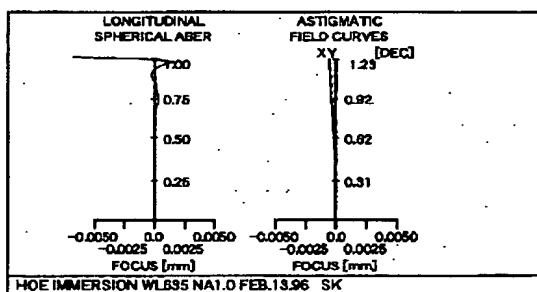
【図70】



【図69】



【図72】



【図73】

